

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Návrh a realizace řídicího systému strojního zařízení pro  
opravování křemíkových dílů**  
**(Design of a Control System for Silicon Parts Processing Machine)**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ľuboš Ďurčanský**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika  
Téma: **Návrh a realizace řídicího systému strojního zařízení pro opracování křemíkových dílů**  
**Design of a Control System for Silicon Parts Processing Machine**

### Zásady pro vypracování:

1. Analýza procesu leptání, čištění a mytí křemíkových dílů.
2. Návrh koncepce řídicího systému daného strojního zařízení.
3. Návrh a popis realizace HW řídicího systému.
4. Návrh SW, optimalizace řídicích úloh a implementace řídicího programu.
6. Řešení vzdálené správy daného strojního zařízení.
7. Ověření funkčnosti a popis výsledků.
8. Dokumentace k prohlášení shody.


### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BERGER, Hans. *Automating with STEP 7 in STL and SCL*. 5th revised and enlarged edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2009. ISBN 978-3-89578-341-8.  
[2] BERGER, Hans. *Automating with SIMATIC*. 4th edition. Erlangen, Germany: Publicis Publishing, 2009. ISBN 978-3-89578-333-3.  
[3] GROSS, Hans, Jens HAMANN a Georg WIEGARTNER. *Electrical Feed Drives in Automation*. Erlangen: Publicis MCD Corporate Pub., c2009. 336 s. ISBN 3-89578-148-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012  
Datum odevzdání: 07.05.2013



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry

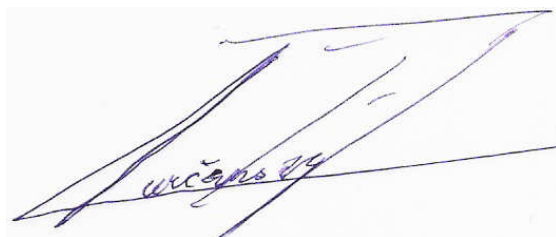


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Rožnově pod Radhoštěm dne 20.4.2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luboš Ďurčanský', is written over a set of faint, intersecting lines that form a grid-like pattern.

Luboš Ďurčanský.....

## **Poděkování**

Chtěl bych toto poděkování věnovat vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a konzultace.

## **Abstrakt**

Cílem mé diplomové práce je provést návrh a realizaci řídicího systému strojního zařízení pro mytí opracovaných křemíkových dílů s vazbou na zadání koncového zákazníka a případná omezení realizační firmy. Samotné strojní zařízení je určeno k mytí křemíkových opracovaných dílů po výrobní operaci řezání. Jako hlavní médium k čištění křemíkových dílů je použita sloučenina dvou kyselin (kyselina fluorovodíková a kyselina dusičná) a demineralizované vody. Problematika bezpečnosti daného zařízení musí tedy být důsledně plněnou a posuzovanou součástí daného zařízení jak při návrhu SW a HW, tak i při jeho realizaci. Opomenutí nějakého bezpečnostního rizika nebo nedůsledná práce při samotné realizaci by mohly vést v lepším případě k těžkému pracovnímu úrazu s trvalými následky, v horším případě i k pracovnímu úrazu s následkem smrti.

Samotné zařízení na mytí křemíkových dílů bude tvořeno jednolitou konstrukcí s otvíratelnými kryty. Vně konstrukce budou umístěny dvě vstupní 100l nádrže určené k namíchání všech potřebných složek k mytí. Z těchto nádrží bude dále výsledná složka distribuována do dvou mycích van, a to malé vany o objemu 35 litrů, která bude určena k mytí drobných křemíkových dílů, a velké vany o objemu 350 litrů k mytí velkých křemíkových dílů, ale také ke speciálnímu vnitřnímu mytí křemíkových trubek. V zadní části zařízení za průhledným ochranným krytem se bude nacházet rozvodnice NN a rozvodnice MN, kterých součástí bude soubor elektrických zařízení (prvků) určených k řízení a ochraně daného strojního zařízení. Všechny ovládací prvky i vizualizace budou umístěny ve přední části zařízení, protože přední část samotného zařízení se bude nacházet v čistých prostorech a zadní část bude oddělena stěnou a bude součástí šedých prostor, tedy zadní část nebude přístupná obsluze daného zařízení.

Výsledkem mé diplomové práce má být tedy produkt odpovídající požadavkům zákazníka s vazbou na vysokou úroveň bezpečnosti při dodržení všech náležitostí platné legislativy.

## **Abstract**

The aim of my thesis is to design and implement the control system of machinery for washing silicon machined parts with a link to enter the end customer and limitations of company. Machinery itself is designed for washing machined silicon parts after production cutting operation. As the main medium for cleaning silicon components is used a compound of two acids (hydrofluoric acid and nitric acid) and demineralized water. The issue of the safety of the device must therefore be consistently fulfilled and assessed part of the equipment during the design of software and hardware, as well as of its implementation. Failure of a safety risk or inconsistent work in the actual implementation could lead at best to a heavy accident at work, with permanent consequences in the worst case, as well as work accident resulting in death.

The device for washing silicon parts will consist of monolithic construction with open able covers. Outside of construction will be placed two input 100 l tanks intended for mixing all the necessary ingredients for washing. From these tanks the resulting components will be further distributed into two washing tubs, a small tub with a capacity of 35 l, which is intended for washing small silicon parts and a large tub with a capacity of 350 l, which is intended for washing large silicon parts but also for special internal cleaning of silicon pipes. In the back of the device behind the transparent protective cover will be located NN switchboard and MN switchboard, which will include a set of electrical equipment (elements) for the management and protection of machinery. All controls and visualization will be placed in front of the device because the front part of the device will be located

in a clean place and the back part will be separated by a wall and will be part of a grey area, so the back part will not be accessible to a servicing of the device.

The result of this thesis is therefore appropriate product to customer requirements linked to the high level of safety in compliance with all applicable legislation matters.

### **Klíčová slova**

řídící jednotka, PLC, HMI, analogové vstupy/výstupy, digitální vstupy/výstupy, strojní zařízení, bezpečnost,

### **Keywords**

Controller, PLC, HMI, analog inputs / outputs, digital inputs / outputs, machinery, safety,

### **Seznam použitých symbolů a zkratk**

I- proud

U- napětí

V- volt

I/O- vstup / výstup (Input / Output)

PLC- programovatelný automat (programmable Logic Controller)

HMI- rozhraní člověk - stroj (Human-Machine Interface)

DPS- deska plošných spojů (PCB)

MPI- bodové rozhraní (Multi Point Interface)

TCP/IP- primární transportní protokol - TCP/protokol síťové vrstvy - IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

NN- nízké napětí (low voltage)

MN- malé napětí (small voltage)

SW- software

HW- hardware

DIW- demineralizovaná voda

HN03- kyselina dusičná

HF- kyselina fluorovodíková

FM- frekvenční měnič

SSR- polovodičové relé (solid-state relay)

AC- střídavý proud (alternating current)

DC- stejnosměrný proud (direct current)

OB- organizační bloky (organizational blocks)

FC- funkce (function)

FB- funkční blok (functional block)

DB- instanční datový blok (instance data block)

LD- grafický jazyk (Ladder Diagram)

Procedura- nadefinovaný proces

Receptura- nadefinovaný poměr jednotlivých složek celkové směsi

## **Obsah:**

<b>1.</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Teoretický rozbor.....</b>	<b>2</b>
2.1.	Seznámení se s výrobní operací čištění a mytí křemíkových dílů .....	2
2.1.1.	Kyselina dusičná HN03 .....	2
2.1.2.	Kyselina fluorovodíková HF .....	2
2.1.3.	Demineralizovaná voda .....	3
2.2.	Souhrn cílů zákazníka a doplňující cíle zadavatele.....	3
2.2.1.	Seznam cílů zákazníka .....	3
2.2.2.	Popis doplňujících cílů zadavatele .....	4
2.3.	Bezpečnost strojních zařízení s vazbou na platnou legislativu pro danou realizaci.....	4
2.3.1.	Zákon 22/1997 .....	4
2.3.2.	Nařízení vlády .....	5
2.3.3.	Technické normy.....	5
<b>3.</b>	<b>Návrh koncepce strojního zařízení, návrh koncepce řídicího systému daného strojního zařízení. ....</b>	<b>8</b>
3.1.	Seznam potřebných vstupů, výstupů PLC .....	8
3.1.1.	Obecný popis koncepce návrhu řešení jednotlivých částí stroje:.....	9
3.1.2.	Analogové vstupy .....	16
3.1.3.	Digitální vstupy.....	16
3.1.4.	Digitální výstupy.....	18
3.2.	Návrh a výběr PLC a HMI.....	19
3.3.	Návrh a výběr prostředí k vytvoření řídicího programu.....	19
3.4.	Návrh a výběr prostředí k programování HMI .....	20
<b>4.</b>	<b>Návrh a popis realizace HW řídicího systému.....</b>	<b>21</b>
4.1.	Návrh a výběr HW komponentů k realizaci řídicího systému PLC .....	21
4.1.1.	Prozkoumání použitelnosti stávajícího CPU 315-2 PN/DP.....	22
4.1.2.	Prozkoumání potřeby vysokorychlostních vstupů .....	25
4.1.3.	Výběr karty vysokorychlostních vstupů .....	25
4.1.4.	Výběr přídatných karet dle výstupu bodu 3.1 .....	26
4.2.	Návrh a výběr HW komponentů k řešení rozhraní člověk – stroj.....	27
4.2.1.	Co je to rozhraní člověk-stroj .....	27
4.2.2.	Co je úkolem HMI. ....	27
4.2.3.	Definice kvality použitelnosti dle ISO.....	28
4.2.4.	Co bylo bráno v úvahu pro výběr HW komponentů .....	28
4.2.5.	Výběr HW komponentů.....	28
4.3.	Popis realizace řídicího systému .....	29
4.4.	Popis realizace rozhraní člověk - stroj.....	30
<b>5.</b>	<b>Návrh a realizace SW, algoritmizace řídicích úloh a implementace řídicího programu.....</b>	<b>31</b>
5.1.	Popis způsobu realizace řídicího programu .....	31

5.1.1.	Výběr programovacího jazyka .....	31
5.1.2.	Definování jednotlivých kroků řídicího programu.....	32
5.1.3.	Logické rozčlenění provozních činností.....	32
5.1.4.	Definování poměrů směsí HN03-DIW-HF.....	32
5.1.5.	Způsob definování celkového běhu procesu.....	33
5.1.6.	Servis.....	33
5.1.7.	Omezování zadávaných hodnot .....	33
5.1.8.	Ukládání vložených parametrů .....	33
5.2.	Struktura programu s vazbou na bezpečnost .....	34
5.2.1.	Struktura základní bezpečnostní smyčky programu.....	34
5.2.2.	Kontrolní smyčka běžících procesů .....	37
5.3.	Struktura programu s vazbou na požadované řídicí činnosti .....	38
5.3.1.	Uspořádání funkcí a funkčních bloků v OB1 .....	38
5.3.2.	Popis struktury dílčího vnořování .....	40
5.4.	Návrh a realizace komunikace mezi PLC a HMI.....	42
5.5.	Realizace části výpočtů .....	43
5.5.1.	Výpočet poměrů požadovaných složek .....	43
5.5.2.	Výpočet aktuální hustoty .....	43
5.5.3.	Výpočet aktuálního objemu v tancích .....	44
5.5.4.	Výpočet počtu opakování napouštění tanku do nádrže „Main poolu“ .....	46
5.6.	Popis jednotlivých bloků řídicího programu.....	46
5.7.	Popis způsobu implementace funkčního modulu FM350-2 .....	48
5.7.1.	Komunikace mezi PLC a FM350-2.....	48
5.7.2.	HW konfigurace FM 350-2 v prostředí TIA V11 .....	49
5.7.3.	Základní provozní funkce FM350-2.....	50
5.7.4.	STS a SW brány FM 350-2 .....	51
5.7.5.	Čtení požadovaných hodnot z DB FM 350-2 .....	53
5.8.	Popis struktury vizualizace .....	53
5.9.	Popis vizualizace programu .....	55
<b>6.</b>	<b>Řešení vzdálené správy daného strojního zařízení .....</b>	<b>56</b>
6.1.	Seznam dostupných řešení.....	56
6.2.	Řešení EWon .....	56
6.2.1.	Dělení modemů EWon .....	56
6.2.2.	Schopnost připojení PLC na sériový port modemu EWon.....	57
6.2.3.	Výběr modemu EWon.....	58
6.3.	Řešení MoRoS .....	58
6.3.1.	Základní informace .....	58
6.3.2.	Technické parametry .....	59
6.3.3.	Moros VPN spojení a komunikace.....	59
6.3.4.	OpenVPN Server – konfigurace .....	60
6.3.5.	OpenVPN Client –konfigurace .....	61
6.4.	Výběr řešení ke vzdálené správě.....	61
<b>7.</b>	<b>Dokumentace k prohlášení shody .....</b>	<b>62</b>



7.1.	Popis způsobu tvorby dokumentace k prohlášení shody .....	62
7.2.	Seznam dokumentů k prohlášení shody .....	62
<b>8.</b>	<b>Ověření funkčnosti strojního zařízení .....</b>	<b>63</b>
8.1.	První oživení strojního zařízení .....	63
8.2.	Testování bezpečnostních okruhů .....	63
8.3.	Testování a nastavování senzorů.....	64
8.3.1.	Testování spolehlivosti turbínových průtokoměrů.....	64
8.3.2.	Testování senzorů hydrostatického tlaku.....	65
8.3.3.	Testování kapacitních keramických senzorů .....	66
8.3.4.	Testování plovákových senzorů.....	66
8.3.5.	Ověření ostatních senzorů.....	66
8.4.	Ověřování funkčnosti HMI.....	67
8.5.	Testování parametrizace programu .....	68
8.6.	Testování běhu požadovaných procedur a receptur .....	69
8.7.	Testování vzdálené správy řešení Moros.....	71
8.7.1.	Moros server .....	71
8.7.2.	On line režim přes vzdálenou správu .....	72
8.7.3.	Umístění Moros klientu .....	72
<b>9.</b>	<b>Závěr – zhodnocení výsledků .....</b>	<b>73</b>
<b>10.</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>75</b>
10.1.	Reference.....	75
<b>11.</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>76</b>
<b>12.</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>77</b>

# **1. Úvod**

Současná doba se vyznačuje nárůstem konkurenčního boje v průmyslu, který vrcholí snahou firem o získávání a udržení nových i stálých zákazníků. Logicky z toho plyne interní potřeba firem co možná nejlépe se přibližovat přáním a potřebám trhu a v tomto směru být vždy před konkurencí. Významnou součástí požadavků trhu bývá spolehlivost, bezpečnost a kvalita výrobku, proto je nezbytné neustále inovovat metodiku (postupy) samotného návrhu, výrobní postupy a ověřování výstupního produktu vzhledem k požadavkům trhu (zákazníka) a platné legislativy. Těchto cílů firem nelze dosáhnout pouze pomocí inovace metodiky, ale také v plné součinnosti s inovacemi technických prostředků a lidských zdrojů, které mohou v konečném důsledku firmě přinést nemalé zisky, ale i samotnou prestiž firmy, která je důležitá zejména k získávání nových potencionálních klientů.

Zadavatelem této diplomové práce je česká firma s dlouholetou tradicí zabývající se projektováním a výrobou jednoúčelových strojních zařízení. Zadavatel v návaznosti na požadavky významné švýcarské firmy má navrhnout strojní zařízení, které bude v co možná největší míře kopírovat přání zákazníka, a v mnoha ohledech se bude snažit i tyto cíle překonat, a tedy nabídnout zákazníkovi víc, než sám očekával. Při samotném návrhu musí firma také dbát na rentabilitu, protože je nutné vytvářet pro trh ekonomicky návratné, v lepším případě výdělečné hodnoty s vazbou na uchování dobré pověsti dané firmy. Samotný zadavatel této diplomové práce si klade také cíl, že výsledný produkt pro zákazníka bude natolik úspěšný, že bude sloužit jako vstupní brána pro navázání dalších obchodních styků s tímto významným švýcarským obchodním partnerem.

Tato diplomová práce se bude tedy zabývat vytvořením návrhu koncepce řídicího systému, návrhu a realizace HW řídicího systému, návrhu a implementace SW s možností vzdálené správy pro dané strojní zařízení, které bude kopírovat požadavky zákazníka s vazbou na případná omezení, popřípadě požadavky zadavatele této diplomové práce.

## **2. Teoretický rozbor**

### **2.1. Seznámení se s výrobní operací čištění a mytí křemíkových dílů**

Samotné cílové řešení strojního zařízení koncového zákazníka je vázáno na naplnění technologie čištění a mytí křemíkových dílů, které vychází z obecních pravidel vlastností jednotlivých prvků vstupujících do tohoto procesu. *Křemík je poměrně tvrdý polokov s vysokou afinitou ke kyslíku. Elementární křemík je na vzduchu neomezeně stálý, v okolní přírodě se s ním však setkáváme prakticky pouze ve formě sloučenin, v nichž se vyskytuje pouze v mocenství  $Si+4$ . Je odolný vůči většině minerálních kyselin s výjimkou směsi kyseliny fluorovodíkové (HF) a kyseliny dusičné ( $HNO_3$ ) [6].* Směsi výše zmíněných kyselin budou pro požadované strojní zařízení využity jako základní materiál určený k odleptávání (čištění) křemíkových dílů. Samotné odleptávání významně zvýší úroveň rovnosti (hladkosti) povrchu, které i přes vysokou přesnost broušení není dokonalé. Po čistící proceduře je křemíkový materiál omyt v demineralizované vodě z důvodu potřeby odstranění zbytku kyselin. Jako poslední fáze činnosti na daném strojním zařízení je možnost sušení křemíkových trubice za pomoci předehřátého dusíku, které taky přispívá k odstranění zbytku kapalných směsí s trubice.

Cílové umístění zařízení bude na rozhraní čistých a šedých prostor, tedy samotné zařízení bude tvořit oddělovací prvek mezi těmito prostory.

Návrh celkové koncepce požadovaného strojního zařízení je uveden pod bodem: 3.1.1 .

#### **2.1.1. Kyselina dusičná $HNO_3$**

*Čistá bezvodá kyselina dusičná (100%) je bezbarvá kapalina s hustotou  $1,513 \text{ g/cm}^3$ , která při teplotě  $-42^\circ\text{C}$  tuhne a vytváří bílé krystaly a vře při  $83^\circ\text{C}$ .*

##### Účinky na zdraví:

*Kyselina dusičná je nebezpečná oxidující žíravina, poškozuje pokožku a sliznice, nebezpečné jsou i její výpary. Poleptání se projevuje charakteristickým zežloutnutím zasažených míst, což je důsledek reakce s bílkovinami [8].*

#### **2.1.2. Kyselina fluorovodíková HF**

*Kyselina fluorovodíková je vodným roztokem fluorovodíku, který je za normální teploty bezbarvý, velmi toxický plyn. Roztok je bezbarvá, dýmající kapalina se silně leptavými účinky.*

##### Účinky na zdraví:

*Kyselina fluorovodíková je velmi žíravá vůči všem tkáním. Silně leptá kůži, oči a zažívací ústrojí. Proniká přes kůži až ke kostem a způsobuje jejich dekalifikaci. Žíravost je způsobena z větší míry iontem fluoru než vodíku. Zředěné roztoky (do 20 %) mohou způsobovat závažná poleptání, která se projeví po až 24hodinovém bezpříznakovém období. Roztoky nad 40 % způsobují okamžitou bolest a*

*poškození kůže. Pohlcení kyseliny přes kůži nebo trávicí ústrojí může způsobit závažnou hypokalcémii s tetanií a srdeční arytmii. Vdechování způsobuje plicní edém a bronchopneumonii[7].*

**Samotná nebezpečnost účinků obou druhů použitých kyselin pro lidské tělo musí být jedním z hlavních aspektů při provádění analýzy rizik, tedy i posuzování rizika!!!**

### **2.1.3. Demineralizovaná voda**

Demineralizovaná voda je voda, která je zbavená křemíku a iontově rozpustných látek. K dané aplikaci je použita demineralizovaná voda, která je vyráběna formou destilace. Tuto vodu lze také nazývat destilovaná voda. Samotná destilace je proces, při kterém voda prochází změnou skupenství na páru, čímž se zbavuje minerálních látek. Samotným výsledkem dobře provedené destilace je čistá sloučenina (H<sub>2</sub>O).

## **2.2.Souhrn cílů zákazníka a doplňující cíle zadavatele**

### **2.2.1. Seznam cílů zákazníka**

- Zařízení má být určeno pro práci v polovodičovém průmyslu k čištění a mytí Si trubic a jiných drobných dílů.
- Má zajišťovat leptání trubic do průměru 300 mm a v délce od 1450 do 2765 mm.
- Součástí má být manipulátor zakládající trubici na otočném válci.
- Systém v závislosti na vybrané předvolené receptuře má zaplnit vanu čisticí chemickou směsí nebo injektovat tuto směs dovnitř trubice.
- Složení směsi bude s vazbou na definici poměru jednotlivých složek receptury (DI-HN03-HF) v návaznosti na požadavek technologa v servisním menu.
- Požadovaný objem směsi má být také zadáván technologem.
- Po ukončení čištění má být možnost omytí Si trubic a drobných materiálů tekoucí DI vodou a vysušení horkým dusíkem.
- Po celou dobu leptání, mytí a sušení trubice má být možnost její rotace dle volby technologa.
- Součástí zařízení mají být dva zásobníky na dvě různé leptací směsi, které jsou automaticky připravovány dle vybrané receptury.
- Součástí zásobníku má být alespoň orientačně možnost měření výšky hladiny, která má být zobrazována na HMI.
- Zařízení musí automaticky kontrolovat procentuální složení jednotlivých složek směsi, která se nachází v zásobnících, a nepovolit spuštění procesu s novou směsí s poměrovou odchylkou složení směsi větší než 2%.
- Samotné mytí má probíhat ve dvou autonomních nádržích (cca 30l pro mytí drobných Si dílů a cca 360l pro mytí velkých Si dílů nebo Si trubic).
- Všechny tři součásti směsi budou do zařízení dopravovány z centrálních rozvodů.
- Možnost sestavování výrobních a servisních procedur dle zadání technologa v servisním módu.

- Součástí zařízení má být PLC s grafickým dotykovým displejem značky Siemens, který má zabezpečit všechny řídicí, regulační a bezpečnostní funkce při provozu linky, ovládání všech pneumatických a hydraulických prvků, napouštění a vypouštění procesních van a zásobníků, uzavírání bezpečnostních krytů, signalizaci provozních a poruchových stavů linky.
- Dodržet maximální specifikované rozměry daného zařízení.
- Materiály a komponenty mají být voleny s ohledem na použití.

### **2.2.2. Popis doplňujících cílů zadavatele**

- Grafické provedení hlavní obrazovky HMI provést dle reálného zobrazení stroje.
- Držet se platné legislativy bezpečnosti strojních zařízení.
- Součástí dodávky bude kompletní dokumentace k prohlášení shody s vazbou na zvyklosti zadavatele.
- Upřednostnit v případě použitelnosti již pořízené PLC CPU 315-2 PN/DP značky Siemens, který má zadavatel na skladě.

I

## **2.3. Bezpečnost strojních zařízení s vazbou na platnou legislativu pro danou realizaci**

Jeden ze základních cílů zadavatele je dodat zařízení nejenom plně funkční a spolehlivé dle požadavků konkrétního zákazníka, ale také hlavně bezpečné. Rozhodně by nebylo pro jméno firmy vhodné, pokud by se objevovaly u zákazníků případy, kdy samotné dodané jednoúčelové zařízení způsobí materiální škodu, těžký pracovní úraz s trvalými následky, nebo dokonce pracovní úraz s následkem smrti. Toto ale není jenom o jménu firmy, protože cíle jednotlivých firem mohou být různé, proto je zde ještě legislativní rámec, který nutí firmy uvádět na trh pouze bezpečné výrobky. Jeden ze základních zákonů určených k tomuto účelu je *Zákon 22/1997*.

### **2.3.1. Zákon 22/1997**

*Tento zákon upravuje způsob stanovování technických požadavků na výrobky, práva a povinnosti osob uvádějících výrobky na trh a stanovuje pravidla tvorby a uplatňování norem. Cílem zákona 22/1997 Sb. je zejména zabezpečit, aby na český trh (v souladu s právem vyspělých zemí) byly uváděny výrobky pouze jako bezpečné. Mimo požadavků na výrobky a s tím souvisejícími povinnostmi a právy jednotlivých subjektů řeší zákon i tvorbu a užití technických norem a postavení jednotlivých právních předpisů. Bezpečným výrobkem je výrobek, který za běžných nebo rozumně předvídatelných podmínek užití nepředstavuje po dobu stanovenou výrobcem nebo po dobu obvyklé použitelnosti nebezpečí, nebo jehož užití představuje pro spotřebitele vzhledem k bezpečnosti a ochraně zdraví pouze minimální nebezpečí při užívání výrobku. Na každý výrobek, který by při svém užívání mohl ohrozit tzv. oprávněný zájem (tj. bezpečnost a zdraví osob, hmotné škody, škody na životním prostředí) jsou stanoveny tzv. technické požadavky na výrobky. Těmito technickými požadavky se rozumí další právní dokumenty, které upravují povinnosti při uvádění výrobků na trh, popřípadě do provozu. Každý, kdo chce uvést výrobek, který by mohl ohrozit oprávněný zájem (výrobce nebo distributor), musí prokázat*

*shodu s technickými předpisy. Tento proces je označován jako posouzení shody a jeho výsledkem je zpracování prohlášení ES, prohlášení o shodě. Prohlášení o shodě s harmonizovanými technickými předpisy (platné v celé EU) se značí dvojicí písmen CE[4].*

### **2.3.2. Nařízení vlády**

Dalším důležitým legislativním rámcem určujícím povinnosti dodavatelů (výrobců) strojních zařízení jsou nařízení vlády. K příkladu zde budou uvedeny ty nejdůležitější, kterými je nutno se při samotném návrhu požadovaného strojního zařízení řídit:

- Nařízení č.176 / 2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení, změněné nařízením vlády č.170 / 2011 Sb. (ekv. směrnice č. 2006/42/EC).
- Nařízení č. 616 / 2006 Sb. o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility (ekv. směrnice č. 2004/108/ES).
- Nařízení vlády č.17 / 2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí (ekv. směrnice č. 2006/95/ES). Stručně popsáno: „Elektrické zařízení může být uvedeno na trh, splňuje – li požadavek tohoto nařízení vlády, za splnění podmínek se považuje splnění harmonizovaných nebo určených technických norem“.

### **2.3.3. Technické normy**

Samotnou kapitolou legislativního rámce jsou technické normy. Normy se dělí dle typu na normy:

- A-Obecně popsané normy s vazbou na široký okruh zařízení.
- B-Podrobněji popsané požadavky na jasně vymezenou část zařízení nebo vymezenou část použití.
- C-Podrobně popsané požadavky pro jasně specifikované typy zařízení

Při samotném návrhu konkrétního strojního zařízení se budeme prioritně řídit normami typu C. Pokud taková norma neexistuje, bude se návrh řídit normou typu B s vazbou na nejbližší okruh zařízení nebo použití.

Nejdůležitější normy jsou normy platné harmonizované, které mají přímou vazbu na zákony a vyhlášky a evropské směrnice. Tyto normy by se měly při návrhu v plném rozsahu dodržovat a lze je dohledat ve vývěstníku úřadu pro technickou normalizaci.

Formulace, že normy neharmonizované přitom platné se nemusí dodržovat, je nešťastná, protože spoustu konstruktérů uvádí v omyl. Mnoho konstruktérů si z důvodu této nešťastné formulace myslí, že těmito normami se nemusí vůbec při samotném návrhu řídit a nejsou tedy pro ně nijak závazné. Upřesním zde, jak se má daná formulace korektně chápat. Samotná povinnost dodržování platných norem byla zrušena hlavně z toho důvodu, že konstruktér může navrhnout řešení, které je v rozporu s platnou normou, ale jeho řešení může být bezpečnější a lepší a dodržováním norem by se výsledek významně zhoršil. V tomto případě musí dotyčný konstruktér být schopen prokázat, že jeho

řešení je minimálně stejně bezpečné jako řešení předepsané v platné normě. Obecně bych to tedy formuloval takto: „Normy platné harmonizované i neharmonizované jsou minimálním standardem konstruktéra při jeho návrhu strojního zařízení, který musí dodržet, popřípadě ho jiným řešením překonat a tento svůj standart korektně obhájit.“

Níže bude uveden seznam hlavních norem, kterými se bude prioritně řídit samotný návrh požadovaného strojního zařízení. Zde nebudou uvedeny normy, kterými se bude návrh řídit pouze málo významně a okrajově, nebo normy, které nemají významnou vazbu k oboru elektro.

- ČSN EN ISO 14121-1. Norma popisuje zásady pro shodný systematický postup pro posouzení rizika. *V poslední době se stal pojem rizika, jeho analýzy, řízení a odhadu často skloňovaným pojmem. Bezpečnostní inženýrství je dnes již samostatný obor. Pojem riziko se prakticky ve všech případech myslí pravděpodobnost vzniku nebezpečné události a její závažnost (velikost škody). Je to kombinace dvou faktorů. Řízením rizik se rozumí přijímání ochranných opatření, a to jak technických, tak organizačních k odstranění těchto rizik[4].*
- ČSN EN ISO 12100. Norma popisuje bezpečnost strojních zařízení, všeobecné zásady pro konstrukci a posouzení a snižování rizika.  
Důležitými pojmy této normy jsou:
  - analýza rizika – znamená definice nebezpečí s odhadem rizika.
  - hodnocení rizika – samotné posouzení s vazbou na analýzu rizik.
  - posouzení rizika – proces zahrnující analýzu rizik a hodnocení rizik.

V normě je také podrobně popsán způsob, jak ve třech krocích ve fázi konstrukce strojního zařízení provést posouzení rizika:

- 1-vyloučení nebezpečí nebo snížení rizika konstrukcí použitím méně nebezpečných materiálů a využitím ergonomických zásad
  - 2- snížení rizika použitím bezpečnostní ochrany a doplňkových ochran
  - 3- jestliže není použitím předchozích dvou bodů dostatečně snižené riziko, musí být toto popsáno jako zbytkové riziko v návodu k obsluze
- ČSN EN 60204-1 ed. 2. Norma popisuje bezpečnost strojních zařízení a elektrická zařízení strojů. Normu lze z hlediska návrhu strojních zařízení považovat za klíčovou.
  - ČSN EN ISO 13849-1. Norma pojednává o bezpečnosti strojních zařízení a bezpečnostní části ovládacích systémů. K tomuto posouzení s normou lze využít například program Sistema od Schneidru. Program nabízí efektivní možnost vyhodnocování dosažené úrovně vlastností (PL, performance level) v kontextu této normy.

- ČSN EN 61508. Funkční bezpečnost elektrických-elektronických programovatelných systémů souvisejících s bezpečností.
- ČSN EN 61131. *Norma zavádí standard do techniky programovatelných automatů. Obsahuje několik částí. Ve třetí části této normy jsou definovány standardní programovací jazyky pro programovatelné automaty. Tato část rovněž popisuje IEC softwarový model, komunikační model a společné prvky programovacích jazyků. Třetí část normy IEC 61131 definuje 5 standardních programovacích jazyků pro programovatelné automaty. Jsou mezi nimi základní nižší jazyky – IL, LAD, FBD, vyšší programovací jazyk ST a grafický programovací jazyk SFC. Každý z jazyků je vhodný pro specifický typ úloh[1].*
- ČSN EN 61439. Norma pojednává o rozvaděčích nízkého napětí.
- ČSN EN 60446 ed. 2. Norma předepisuje základní a bezpečnostní zásady pro rozhraní člověk-stroj, značení a identifikaci - označování vodičů barvami nebo písmeny a číslicemi.



### **3. Návrh koncepce strojního zařízení, návrh koncepce řídicího systému daného strojního zařízení.**

Celková koncepce zařízení vznikala koordinací komunikace s koncovým zákazníkem, vzájemnou komunikací mezi vnitřními procesy při jednotlivých fázích návrhu daného strojního zařízení.

Dílčí koncepce návrhu strojního řešení zařízení vznikala s vazbou na návrh strojního konstruktéra a přímou oponenturou vedoucího elektrokonstrukce včetně oponentury řešitele této diplomové práce. Koncepce návrhu řešení HW elektro vznikala dle jednotlivých návrhů řešení vedoucího elektrokonstrukce a řešitele této diplomové práce s přímou oponenturou strojního konstruktéra. Návrh koncepce programového vybavení, tedy i řešení hlavního řídicího programu PLC, bylo navrhováno a aplikováno řešitelem této diplomové práce.

Volba řídicího systému daného strojního zařízení byla s vazbou na požadavky zákazníka a omezení zadavatele. Již z prvních předpokladů složitosti stroje a požadavků koncového zákazníka bylo vybráno PLC jako hlavní řídicí prvek strojního zařízení, které bude provádět všechny řídicí, výpočetní a komunikační úkoly. Další prvky řídicího systému byly voleny v závislosti na potřebě konkrétní aplikace a bezpečnostních standardech viz výše zmíněné technické normy.

#### **3.1. Seznam potřebných vstupů, výstupů PLC**

V těchto bodech je uveden seznam potřebných vstupů a výstupů, přičemž zdůvodnění volby specifických vstupů/výstupů není součástí zadání této diplomové práce.

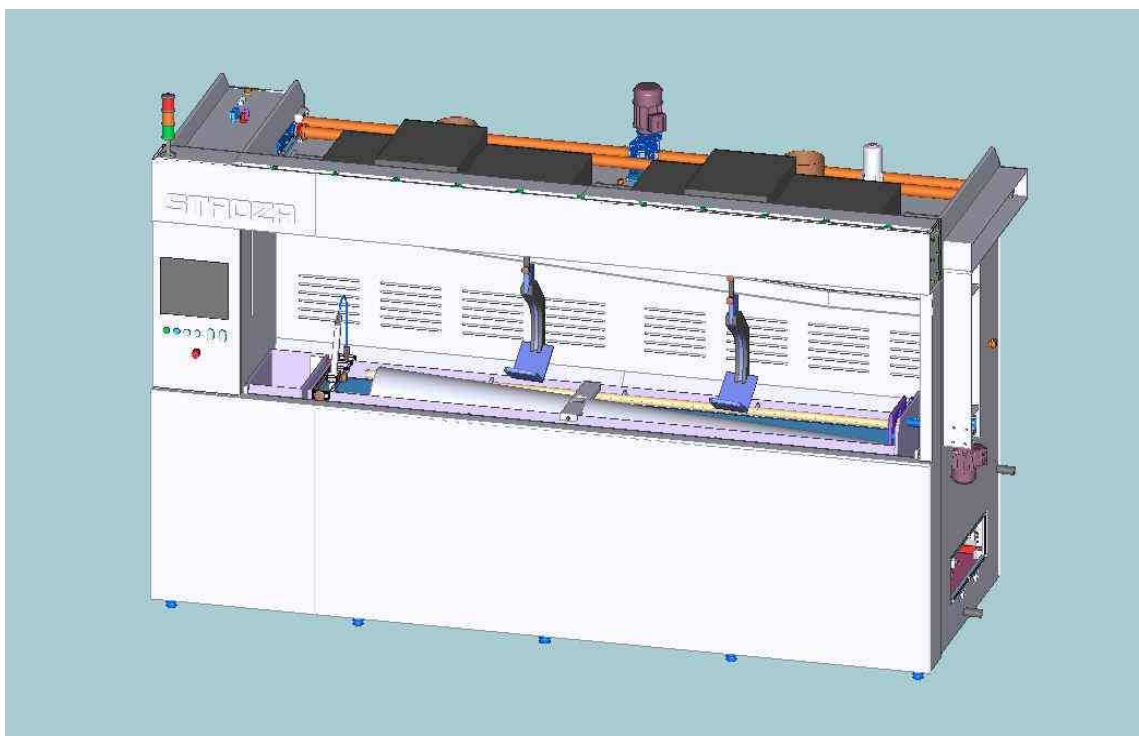
Konečný počet požadovaných vstupů a výstupů bude ještě korigován v souladu s pravidlem „*Pokud požadavky vyžadují použití nových vstupů a výstupů, můžeme někdy vystačit s využitím existujících rezerv v konfiguraci (nechávat si 5 až 15 % rezervu je prozíravé)*“ [1].“

Před samotným stanovením potřebných vstupů a výstupů bylo nutné nejdříve provést návrh uspořádání samotné koncepce strojního zařízení. Z této výsledné koncepce bylo teprve možné stanovit potřebný seznam vstupů a výstupů pro naplnění všech požadovaných vlastností daného strojního zařízení. Každý krok návrhu HW řešení elektro byl v konzistenci s návrhem strojního řešení. Pokud by tomu tak nebylo, vznikaly by chyby, které by způsobily značné ekonomické ztráty dodavatelské firmě s přímou vazbou na ztrátu důvěry u koncového zákazníka. Hlavním pilířem návrhu koncepce strojního zařízení byl technický podklad požadavků od zákazníka, který se neustále aktualizoval v průběhu celého vývoje daného strojního zařízení. Aktualizace probíhala formou přímé písemné komunikace s koncovým zákazníkem, kterému byly předkládány návrhy řešení požadavků, které se neustále upřesňovaly do uživatelských detailů. Tímto opatřením se významně eliminovalo riziko, že samotné řešení se oddálí představám a potřebám koncového zákazníka. Pro dodavatelskou firmu to v prvopočátku znamenalo vstupní vícenásobky v podobě času na dodatečnou komunikaci s koncovým zákazníkem, ale v celkovém výsledku to přineslo značné finanční úspory při zamezení dodatečným přepracováním požadovaného strojního zařízení.

### 3.1.1. Obecný popis koncepce návrhu řešení jednotlivých částí stroje:

Samotný stroj byl koncepčně rozdělen do jednotlivých částí, kde se soustřeďovaly jednotlivé typy technických prostředků daného zařízení. Samotné zařízení bylo konstrukčně navrženo do čistých a šedých prostor a materiály použité v zařízení byly přizpůsobeny všem provozním podmínkám, pro které je dané zařízení navrženo. Příložené obrázky koncepce strojního zařízení byly vytvořeny z modelů dodavatelské firmy v programovém prostředí Solid Works. Jako vhodná pomůcka k práci s tímto prostředím byla využita příručka pro Solid Works[5]. Samotné zařízení bylo koncepčně rozděleno přes vnitřní přepážky s ohledem na umístění do rozhraní mezi čistým a šedým prostorem na přední a zadní část.

#### Přední část stroje:



Obrázek 1. Model přední části stroje

- Pracovní chemický prostor, který byl koncepčně určen pro manipulaci s materiály obsluhou před a po zahájení procesu: Prostor dále dělíme na:
  - a) velkou mycí a leptací nádrž (Main pool);
  - b) malou mycí a leptací nádrž (Small pool);

- c) přední průhledný pohyblivý ochranný kryt. Pohon horizontálního pohybu krytu je zajištěn elektromotorem 1F 230V AC 240W přes speciální páskové ústrojí. Pro kontrolu chodu pohonu byl zvolen senzor kontrolující stav napnutí pásků. Ochranu proti přehřátí daného motoru zajišťuje pomocný termokontakt. S vazbou na bezpečnostní standardy byla zvolena detekce krytu v uzavřené poloze pomocí bezpečnostního vypínače F3S-TGR-NLPC-20-10, který je přímo propojen s bezpečnostním přídržným relé F117 a zajišťuje jednu ze základních bezpečnostních funkcí stroje.
- Velká mycí-leptací vana (dále jen Main pool). Main pool byla určena pro zajištění leptání trubic do průměru 300 mm a v délce od 1450 do 2765 mm, mytí velkých křemíkových dílů a čistící proces těchto dílů. Součástí Main poolu je:
  - a) speciální držák pro upínání zmíněných trubic;
  - b) pohyblivé ústrojí zajišťující otáčení trubice za pomoci pohonu el. motoru 3x400/230V AC 120W řízeného frekvenčním měničem JCBA 0002 prostřednictvím ozubených převodů z chemických odolných materiálů. Řízení frekvenčního měniče je pomocí digitálních výstupů z PLC, a to pro povel chodu a pro zadání požadované rychlosti formou logické kombinace dvou vstupů frekvenčního měniče. Také byla zajištěna zpětná vazba pro kontrolu poruchových stavů frekvenčního měniče za pomoci digitálních vstupů PLC. Samotný silový vstup do frekvenčního měniče je vypínán přes předřazený stykač, který v případě potřeby trvale odpojuje akční členy z činnosti;
  - c) trysky pro přívod ohřátého sušícího média. Sušící medium je vyráběno ve speciálně navrženém ohříváči N2 dodavatelské společnosti, ze kterého je převáděno ohřáté medium přes hadičky do speciálně navržených trysek. Součástí Main poolu je senzor PT100 zajišťující zpětnou vazbu regulátoru při běžné provozní činnosti stroje o aktuální teplotě v mycí-leptací komoře. Součástí speciálního ohříváče je také havarijní termostat, který bude zajišťovat ochranu samotného zařízení v případě selhání provozní funkce senzoru PT100. Ovládání spínání je zajištěno prostřednictvím SSR z důvodu potřeby dlouhodobé životnosti, které bude spínáno řídicím signálem z PLC. Pro ohřev byla stanovena možnost vypnutí od silového napětí prostřednictvím stykače, který je taktéž ovládán digitálním výstupem PLC. K těmto účelům byly vyčleněny potřebné digitální a analogové vstupy a digitální výstupy v PLC;
  - d) zdvižné rameno, které bylo určeno k přepravě leptaného materiálu dle požadované horizontální pozice. Pohon ramena je zajištěn elektromotorem 3x400/230V 180W přes speciální páskové ústrojí. Pro kontrolu chodu pohonu slouží spínač kontrolující stav napnutí pásků. Pro ochranu proti přehřátí daného motoru byl zvolen pomocný termokontakt. Požadovaná pozice je kontrolována za použití čtyř indukčních senzorů. Koncepce seřazení senzorů byla provozně zvolena do třech možných pozic a čtvrté nezávislé havarijní pozice, která je využita pouze v případě selhání senzoru horní

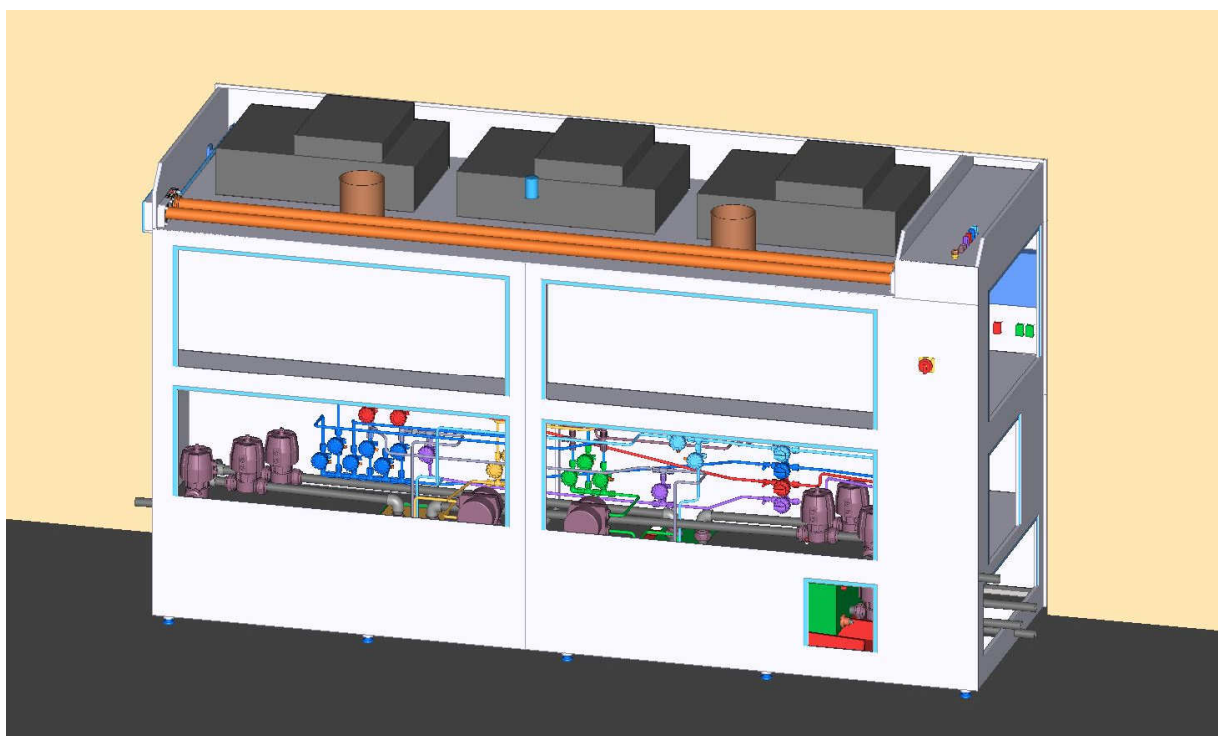
pozice. Směr chodu motoru je řízen přes stykače, které budou také sloužit k funkci zastavení pohybu v požadované pozici. Pro všechno byly vyčleněny potřebné digitální vstupy a výstupy v PLC;

- e) přívodní a odvodní cesty pro čistící a leptací směs. Tyto cesty jsou tvořeny soustavou chemicky odolných hadic a elektricky ovládaných ventilů a pump, které řídí způsob vtoku a odtoku jednotlivých směsí. Do Main poolu jsou vpouštěny vtoky směsí pro dva druhy mytí a leptání, a to autonomně ze dvou nádrží pro míchání jednotlivých směsí. Stejně pravidlo bylo zvoleno pro odtoky, které musí být možné autonomně řízeně poslat zpět do dvou malých nádrží (tanků), nebo také do odpadu (neutralizace) a do HF kontejneru. K tomuto účelu bylo nutno rezervovat potřebný počet digitálních výstupů řídicího PLC;
  - f) senzory zajišťující detekci stavu horní a dolní úrovně napuštěné směsi. Pro tento účel byly vybrány senzory Cynergy3 RSF74Y100RM. Senzor horní úrovně je využit zejména jako havarijní senzor, protože napouštění požadované směsi do Main poolu bude probíhat řízeně dle požadovaného množství. Senzor dolní úrovně bude sloužit k předání informace PLC o tom, že v Main poolu se již žádná směs nenachází. Sledování aktuální hladiny v této nádrži není potřebné, proto také tato koncepce není součástí výsledného řešení. K tomuto účelu byly rezervovány v PLC potřebné digitální vstupy.
- Malá mycí-leptací vana (dále jen Small pool). Small pool byl určen k zajištění leptání a mytí drobných křemíkových dílů a nachází se ve stejném vymezeném prostoru jako Main pool. Součástí Small poolu jsou:
    - a) přívodní a odvodní cesty pro čistící a leptací směs. Tyto cesty jsou tvořeny soustavou chemicky odolných hadic a elektricky ovládaných ventilů a pump, které řídí způsob vtoku a odtoku jednotlivých směsí. Do Small poolu jsou vpouštěny vtoky směsí pro jeden druh mytí a leptání, a to autonomně ze dvou nádrží (tanků) pro míchání jednotlivých směsí. Stejně pravidlo platí pro odtoky, které musí být možné autonomně řízeně poslat zpět do dvou malých nádrží nebo také do odpadu (neutralizace) a do HF kontejneru. K tomuto účelu byl rezervován potřebný počet digitálních výstupů řídicího PLC;
    - b) senzory zajišťující detekci stavu horní a dolní úrovně napuštěné směsi. Pro tento účel byly vybrány senzory Cynergy3 RSF74Y100RM. Senzor horní úrovně je využit zejména jako havarijní senzor, protože napouštění požadované směsi do Main poolu bude probíhat řízeně dle požadovaného množství. Senzor dolní úrovně slouží k předání informace PLC o tom, že v Main poolu se již žádná směs nenachází. Sledování aktuální hladiny v této nádrži není potřebné, proto také tato koncepce není

součástí výsledného řešení. K tomuto účelu byly rezervovány v PLC potřebné digitální vstupy.

- Ovládací panel stroje, který je koncepčně určen jako komunikační rozhraní operátora a strojního zařízení. Součástí ovládacího panelu jsou:
  - a) tlačítka sloužící ke spínání procesu, resetování systému, ovládání pohybu ochranného krytu a manipulátorů včetně světelných indikací zmíněných stavů;
  - b) ovládací dotykový panel HMI, který bude zobrazovat všechny provozní stavy stroje a bude sloužit k zadávání požadovaných parametrů pro proces;

#### Zadní část stroje:



Obrázek 2. Model zadní části stroje

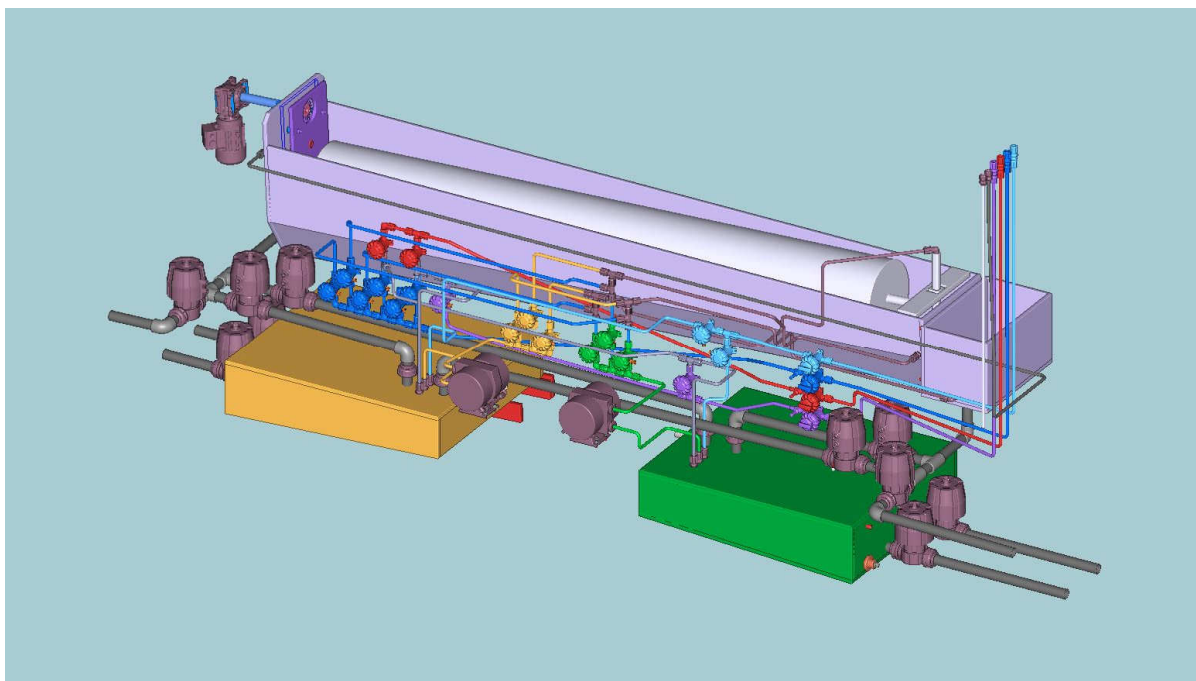
- Prostor rozvaděče NN. Elektrotechnické prvky určené pro rozvod elektrické energie byly koncepčně soustředěny ve dvou vestavěných rozvaděčích chráněných průhlednými kryty. Prvky do jednotlivých rozvaděčů byly koncepčně umístěny dle nominálního napětí. Toto opatření zamezí vzniku nežádoucích vlastností vznikajících z důvodu souběžného vedení různých úrovní napětí. Součástí rozvaděče jsou prvky určené k vedení 230V AC. Zde jsou umístěny stykače, relé, SSR, jističe atd. Část těchto prvků je propojena s řídicím PLC a k tomuto účelu je nutné rezervovat v PLC potřebné digitální vstupy a výstupy.

- Prostor rozvaděče MN. Součástí koncepce tohoto rozvaděče byly určeny prvky k vedení 24V DC. Zde je například umístěno řídicí PLC včetně všech svých periferních zařízení, modem pro vzdálenou správu, relé atd. Kompletní schéma je zde uvedeno formou přílohy pod názvem:  
Příloha 2: Schéma elektro
- Dvě autonomní nádrže pro míchání požadované směsi (dále jen Tank 1 a 2). Tank 1 a 2 byl určen k vymíchání požadované směsi ze třech složek (HN03-HF-DIW) v předdefinovaném poměru a množství. Z jednotlivých nádrží je dále směs v průběhu procesu možné dle potřeb autonomně přemísťovat do Small a Main poolu a také nazpět. Součástí Tanku 1 a 2 jsou:
  - a) přívodní a odvodní cesty pro čistící a leptací směs. Tyto cesty tvoří soustavu chemicky odolných hadic a elektricky ovládaných ventilů, které řídí způsob vtoku a odtoku jednotlivých složek směsí. Do tanků jsou vpouštěny vtoky směsí samostatně pro jednotlivé složky z centrálních zásobníků. Množství vtoku jednotlivých složek směsí bude měřeno prostřednictvím průtokových senzorů Equiflow turbine flowmeter 0125. Odtok je možné vypustit řízeně do odpadu (neutralizace) a do HF kontejneru nebo také do Small a Main poolu. K tomuto účelu byl rezervován potřebný počet digitálních vstupů a výstupů řídicího PLC;
  - b) senzory zajišťující detekci stavu horní úrovně napuštěné směsi. Pro tento účel byly vybrány senzory Cynergy3 RSF74Y100RM. Senzor horní úrovně je využit zejména jako havarijní senzor. K tomuto účelu byly rezervovány v PLC potřebné digitální vstupy;
  - c) senzory zajišťující detekci aktuálního stavu napuštěné směsi. Pro tento účel byly vybrány senzory BD LMK351, které měří tlak v tancích. Na základě vztahu pro výpočet hydrostatického tlaku je dopočtena aktuální výška hladiny, tedy i objem nádrží. Vše je podrobněji vysvětleno v bodu 5.5. K tomuto účelu byly rezervovány v PLC potřebné analogové vstupy.
- Dvě autonomní havarijní nádrže, které byly určeny pro zachycení namíchaných směsí v případě vzniku havárie. Součástí havarijní nádrže A a B jsou kapacitní keramické senzory LMK 351 zajišťující detekci směsí v prostoru nádrží. K tomuto účelu byly rezervovány v PLC potřebné digitální vstupy.
- Zadní chemický prostor byl určen k přístupu pro servisní zásahy k jednotlivým zde umístěným částem stroje. Součástí zadního chemického prostoru jsou:

- a) dva průhledné kryty odnímatelné za použití speciálního nástroje. Za tímto prostorem může dojít v případě vzniku havárie k úniku nebezpečných směsí. Ochranné kryty slouží jako záložní ochrana před možným vznikem pracovních úrazů;
  - b) kapacitní senzory zajišťující detekci uzavřeného stavu obou ochranných krytů. K tomuto byly rezervovány v PLC potřebné digitální vstupy.
- Prostor pneumatického rozvaděče. Daný prostor byl koncepčně určen pro zařízení sloužící k rozvodu a přepravě stlačeného vzduchu a kapaliny. Kompletní schéma je zde uvedeno formou přílohy pod názvem:  
Příloha 3: Pneu schéma

Součástí pneumatického rozvaděče jsou:

- a) dva průhledné kryty odnímatelné za použití speciálního nástroje. Za tímto prostorem může dojít v případě vzniku havárie k úniku nebezpečných směsí (výparů). Ochranné kryty slouží jako záložní ochrana před možným vznikem pracovních úrazů;
- b) kapacitní senzory zajišťující detekci uzavřeného stavu obou ochranných krytů. K tomuto účelu je nutné rezervovat v PLC potřebné digitální vstupy.

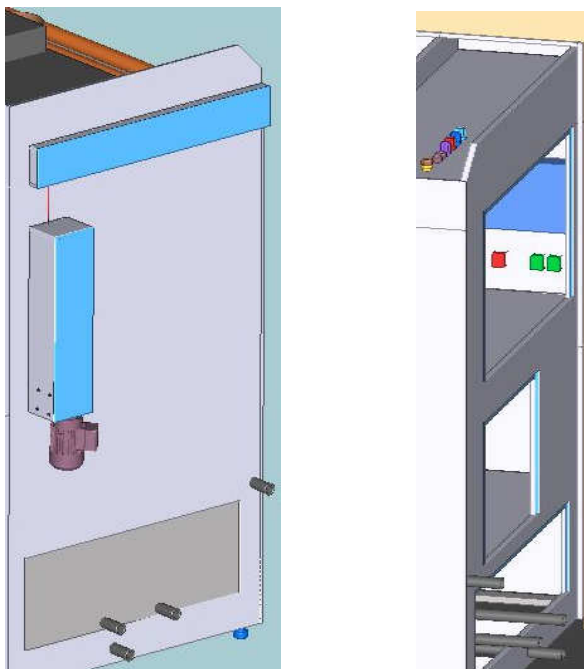


Obrázek 3. Model hydraulické a pneumatické koncepce stroje

### Horní část stroje:

- Prostor horní části stroje. Tento prostor byl určen k umístění ústrojí pro připojení k jednotlivým vstupním médiím, k upevnění externího odsávání a k umístění ohřívače N2. Součástí horní části stroje jsou:
  - a) ohřívač N2 zajišťující ohřev pracovního chemického prostoru včetně havarijního termostatu. K tomuto účelu byly rezervovány v PLC potřebné digitální vstupy a výstupy;
  - b) připojovací místa k připojení jednotlivých médií (DIW, HF, HN03, odsávání včetně diferenciationálního senzoru);
  - c) motory a mechanismy tvořící systém pohonů pro manipulátor a ochranný kryt pracovního chemického prostoru;
  - d) tříbarevný signalizační sloupek, který zajišťuje světelnou a zvukovou indikaci provozních stavů stroje. K tomuto účelu byly u PLC vyhrazeny potřebné digitální výstupy.

### Boční část stroje:



Obrázek 4. Model pravé a levé části stroje



- Prostor pomocného rozvaděče, který byl navržen na pravou část stroje a byl určen k umístění hlavního ventilu včetně diferencionálního senzoru přívodního tlaku vzduchu a také umístění regulačních ventilů k přívodnímu vzduchu pro senzory měření tlaku v tancích.
- Na pravé straně stroje bylo navrženo umístění motoru pro pohon mechanismu rotace Main poolu

### **3.1.2. Analogové vstupy**

*Analogové vstupy slouží pro připojení analogových (spojitých) veličin k programovatelnému automatu (regulátoru). Jedná se hlavně o signály ze snímačů a čidel, které poskytují spojitý signál. Bývají to hlavně snímače fyzikálních veličin jako jsou teploměry, tlakoměry apod., které nám fyzikální veličinu převádí na elektrický signál. Analogové vstupní signály mají většinou charakter napěťový (0(2)-10V), nebo proudový (0(4)-20mA), ale jsou i odporové, kdy se změnou hodnoty odporu měří např. teplota.. Obecně platí, že proudové signály jsou odolnější proti rušení, jejich použití je výhodné zvláště u průmyslových aplikací a tam, kde je vyšší možnost případného rušení.[1].*

Seznam analogových vstupů:

- Měření tlaku v zásobníku 1
- Měření tlaku v zásobníku 2
- Měření teploty za pomoci senzoru PT100

Celkem bude požadováno: 5 (3+rezerva)

### **3.1.3. Digitální vstupy**

*Digitální (binární) vstupy jsou určeny pro připojení dvouhodnotových veličin k programovatelnému automatu (regulátoru). Jejich zdrojem jsou snímače, čidla, tlačítka apod., které dávají informaci „ano/ne“, „pravda/nepravda“ o sledované části procesu.*

*Nejčastěji používané fyzikální rozsahy digitálních vstupů jsou:*

- **0/24V DC – snad nejpoužívanější rozsah digitálních vstupů** (použito v této aplikaci).
- **0/5V DC – rozsah odpovídající TTL logice**, v průmyslu se používá zřídka.
- **230V AC – rozsah odpovídající běžné střídavé síti** při použití vstupních modulů pro tento rozsah je výhodné to, že signály není nutné převádět např. na 24V DC[1].

Seznam digitálních vstupů:

- Kontrola tlaku vzduchu
- Kontrola tlaku vzduchu v pumpě
- Kontrola tlaku vzduchu ohřevu
- Senzor úrovně havarijní nádrže A
- Senzor úrovně havarijní nádrže B

- Kontrola provozu odsávání
- Zásobník 1 – úroveň maximální
- Zásobník 2 – úroveň maximální
- Velká leptací nádrž – úroveň maximální
- Velká leptací nádrž – úroveň minimální
- Malá leptací nádrž – úroveň maximální
- Malá leptací nádrž – úroveň minimální
- Kontrola krytu chemického prostoru 2
- Kontrola krytu chemického prostoru 1
- Vertikální pojezd dolní limit 1
- Vertikální pojezd dolní limit 2
- Vertikální pojezd horní limit
- Vertikální pojezd havarijní pozice
- Kontrola nežádoucí blokace pojezdu čelního ochranného krytu
- Kontrola nežádoucí blokace vertikálního pojezdu
- Vstup poruchy frekvenčního měniče
- Kontrola jističe laminární jednotky
- Kontrola jističe rotace
- Kontrola jističe vertikálního pojezdu
- Kontrola jističe pojezdu čelního ochranného krytu
- Kontrola jističe ohřevu
- Spínač havarijní teploty ohřevu
- Měření průtoku FS03 (Nutno prověřit rychlost čtení!!! V případě nedostatku bude řešeno rychlými vstupy jiným PLC, popřípadě rychle čtecí přídatnou jednotkou.)
- Měření průtoku FS02 (Nutno prověřit rychlost čtení!!! V případě nedostatku bude řešeno rychlými vstupy jiným PLC, popřípadě rychle čtecí přídatnou jednotkou.)
- Měření průtoku FS01 (Nutno prověřit rychlost čtení!!! V případě nedostatku bude řešeno rychlými vstupy jiným PLC, popřípadě rychle čtecí přídatnou jednotkou.)
- Detekce stavu central stopu přes bezpečnostní přídržné relé
- Kontrola uzavření krytu přes bezpečnostní přídržné relé
- Ovládací tlačítko reset
- Ovládací tlačítko čelní kryt nahoru
- Ovládací tlačítko čelní kryt dolů
- Ovládací tlačítko vertikální pojezd nahoru
- Ovládací tlačítko vertikální pojezd dolů
- Ovládací tlačítko pro spouštění procesu

Celkem bude požadováno: 48 (41+rezerva)

### 3.1.4. Digitální výstupy

*Digitální (binární) výstupy slouží pro připojení akčních členů s dvouhodnotovým signálem k programovatelnému automatu (regulátoru). Jedná se například o různé indikátory, jednoduché pohony, stykače, relé apod.*

*Nejčastěji používané fyzikální rozsahy digitálních výstupů jsou:*

- 0/24V DC – snad nejpoužívanější rozsah digitálních vstupů.
- 0/5V DC – rozsah odpovídající TTL logice, v průmyslu se používá zřídka.

*230V AC – rozsah odpovídající běžné střídavé síli, takže je možné napájet odběrově nenáročná zařízení přímo z digitálního výstupu (např. cívku stykače) [1].*

#### Seznam digitálních výstupů:

- Sprchování DIW PHV13
- Sprchování DIW PHV12
- Plnění malé nádrže DIW
- Oplachování vnitřní ve velké nádrži
- Plnění velké nádrže DIW
- Plnění zásobníku 2 DIW
- Plnění zásobníku 1 DIW
- Plnění zásobníku 2 HF
- Plnění zásobníku 1 HF
- Plnění zásobníku 2 HN03
- Plnění zásobníku 1 HN03
- Odtok z velké nádrže do zásobníku 1
- Odtok z velké nádrže do zásobníku 2
- Odtok z velké nádrže do neutralizace
- Odtok z malé nádrže do zásobníku 1
- Odtok z malé nádrže do zásobníku 2
- Odtok z malé nádrže do neutralizace
- Plnění malé nádrže ze zásobníku 2
- Vnitřní leptání ze zásobníku 2
- Plnění velké nádrže ze zásobníku 2
- Plnění malé nádrže ze zásobníku 1
- Vnitřní leptání ze zásobníku 1
- Plnění velké nádrže ze zásobníku 1
- Odtok ze zásobníku 2 do HF kontejneru
- Odtok ze zásobníku 2 do neutralizace
- Odtok ze zásobníku 1 do HF kontejneru
- Odtok ze zásobníku 1 do neutralizace
- Běh cirkulace pumpa 2

- Běh cirkulace pumpa 1
- Vtok dusíku pro ohřev
- Rotace - sepnutí stykače
- Vertikální pohon nahoru
- Vertikální pohon dolů
- Přední ochranný kryt dolů
- Přední ochranný kryt nahoru
- Ohřev dusíku
- Sepnutí SSR
- Příkaz pro FM k rotaci trubky
- Řízení rychlosti rotace 1
- Řízení rychlosti rotace 2
- Signálka červená
- Signálka žlutá
- Signálka zelená
- Akustická signalizace
- Světelná signalizace vertikálního pojezdu
- Světelná signalizace pojezdu čelního ochranného krytu
- Světelná signalizace běhu procesu

Celkem bude požadováno: **55** (47+rezerva)

### **3.2.Návrh a výběr PLC a HMI**

Samotný návrh byl ohraničen požadavkem koncového zákazníka, který požadoval řídicí systém značky Siemens. Hlavním důvodem tohoto požadavku je prioritní používání tohoto systému v téměř všech obdobných strojních zařízeních v jejich výrobních prostorech. Osobně bych doporučil prozkoumat možnost alternativních dodavatelů, jako jsou například Unitronics, Back Hoff, Schneider, Omron a podobně, nicméně z důvodů potřeby efektivního využívání svého pracovního času s vazbou na výše zmíněnou podmínku koncového zákazníka toto nebylo provedeno.

### **3.3.Návrh a výběr prostředí k vytvoření řídicího programu**

Požadavek zákazníka specifikoval pouze výběr řídicí technologie a ne prostředí, ve kterém mají být vytvořeny programy. Dodavatelská společnost se specializuje na dodávky strojních zařízení s použitím řídicí technologie OPLC značky Unitronics a jiné řídicí technologie aplikuje pouze při vyžádání konkrétního koncového zákazníka. Toto mi umožnilo v projektu prosadit použití nejnovějšího programového prostředí Siemens TIA V11.

Hlavní důvody použití tohoto programového prostředí:

- a) dodavatelská firma byla nucena pořídit si prostředí k programování produktů Siemens;
- b) systém je modernější a sofistikovanější;
- c) TIA portál je SW, který obsahuje několik integrovaných nástrojů. Pro programování PLC slouží Step7 V11, vytváření aplikací pro HMI systémy umožní WinCC V11 a parametrizaci Siemens pohonů StartDrive V11; [9]
- d) celková cena licence za TIA V11 byla příznivější než nákup poslední samostatné verze Step 7 , 5.4 nebo 5.5 a WinCC dohromady;
- e) z důvodu integrování všeho na jedno místo je vytváření vzájemné komunikace mezi částmi řídicího systému mnohem jednodušší;
- f) Samotný software Step7 V11 a WinCC V11 existuje ve dvou verzích - Basic a Professional. Vybral jsem verzi Professional, protože již umožňuje vytvářet programy a aplikace pro celou řadu PLC Simatic, tedy S7-300/400. Samozřejmě že stále je možné pracovat s projekty pro Step7 verze 5.5 nebo 5.4; [9]
- g) TIA samozřejmě obsahuje hardwarový katalog, podobně jako Step7, který je přehlednější a je primárně určen pro nové projekty s novým hardwarem.

### **3.4.Návrh a výběr prostředí k programování HMI**

K programování HMI bylo vybráno programové prostředí TIA V11, ve kterém je k tomuto účelu také integrováno vizualizační programové prostředí WinCC V11. Zdůvodnění tohoto výběru je uvedeno v bodě 3.3.

## **4. Návrh a popis realizace HW řídicího systému.**

### **4.1. Návrh a výběr HW komponentů k realizaci řídicího systému PLC**

Výběr HW komponentů k realizaci řídicího PLC byl značně ohraničen požadavky koncového zákazníka, který požadoval řídicí systém značky Siemens, a dodavatelskou firmou, která chtěla efektivně využít PLC CPU 315-2 PN/DP značky Siemens, který měla již na skladě. Dodavatelská firma se zaměřuje zejména na řídicí systémy OPLC značky Unitronics, odklad využití stávajícího PLC značky Siemens by mohlo pro firmu znamenat finanční ztrátu, proto kladla důraz na nezbytnost využití tohoto stávajícího PLC.

Samotná koncepce strojního zařízení předpokládá použití 3 pevných PFA průtokoměrů, viz bod 3.1.1. Je tedy vysoký předpoklad, že pro danou aplikaci bude nutno využít tři vysokorychlostní čtecí vstupy. Pokud by nebylo omezení od dodavatelské firmy, optimálnější by bylo použít PLC s integrovanými vysokorychlostními vstupy.

*Detailní informace o těchto technologických funkcích lze nalézt v technické dokumentaci – SIMATIC S7-300 Automation System, CPU 31xC Technological Functions.*

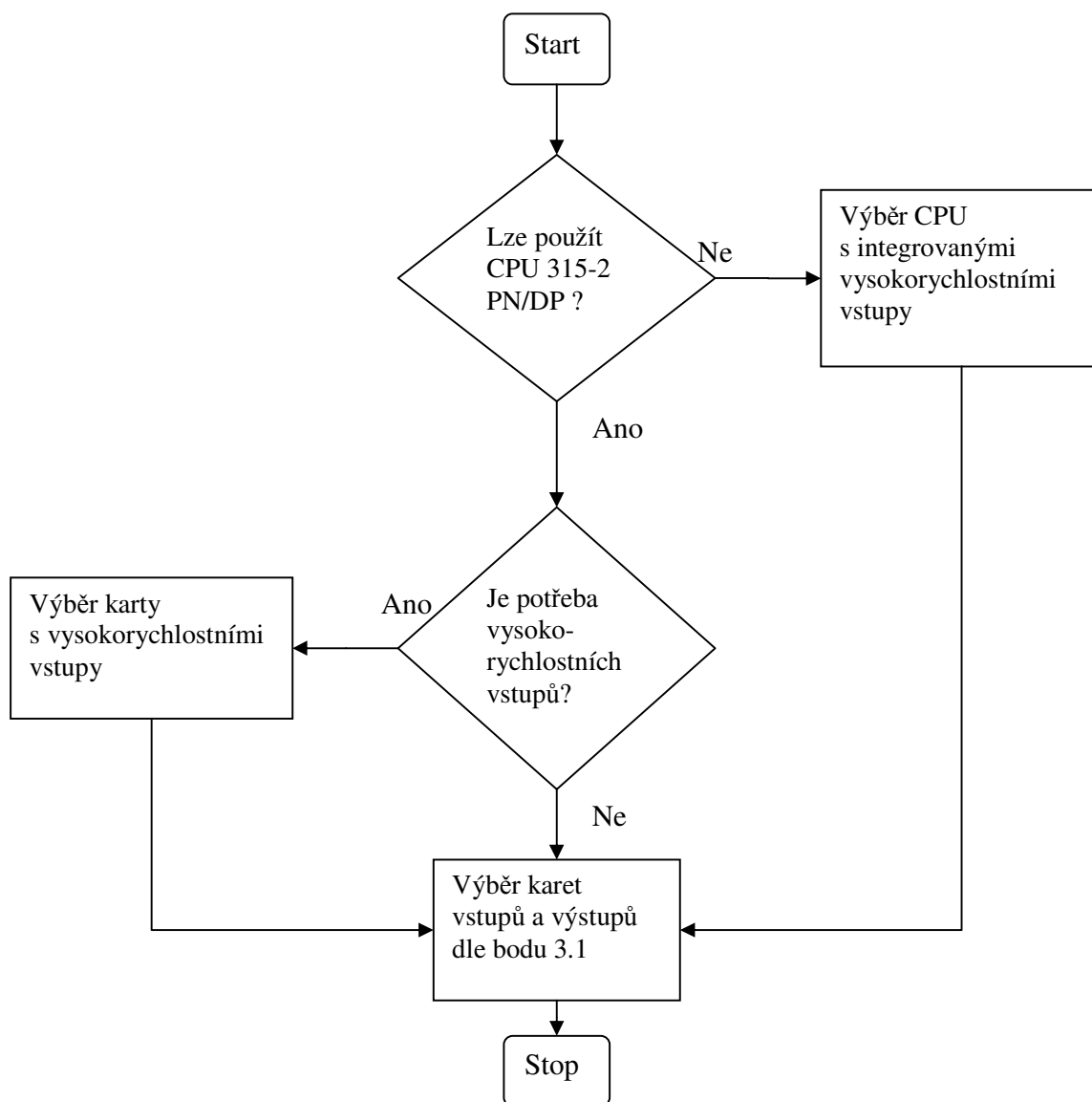
*Pro měření frekvence, vysokorychlostní čítání a PWM výstupy jsou k dispozici následující počty kanálů:*

- CPU 312C: 2 channels
- CPU 313C, CPU 313C-2 DP/PtP: 3 channels
- CPU 314C-2 DP/PtP: 4 channels

*Maximální hodnota frekvence signálu je:*

- CPU 312C = 10 kHz max.
- CPU 313C, CPU 313C-2 DP/PtP = 30 kHz max.
- CPU 314C-2 DP/PtP = 60 kHz max. [3]

Nicméně s vazbou na omezení dodavatelské firmy bude koncepce výběru HW komponentů probíhat dle popsaného vývojového diagramu:



Obrázek 5. Vývojový diagram postupu výběru HW PLC

#### 4.1.1. Prozkoumání použitelnosti stávajícího CPU 315-2 PN/DP

PLC řady S7-300 představují modulární PLC pro rychlé řízení ve středně náročných aplikacích. Na základě výstupu koncepce strojního zařízení viz bod 3.1.1 byla posouzena úroveň předpokládané náročnosti pro řídicí systém, ze které vyplynulo, že modulární PLC z této řady je pro danou aplikaci vyhovující. Další posouzení bylo provedeno dle parametrů daného CPU viz obrázek 10 a 11.

#### Vlastnosti daného CPU:

- Za pomocí přídatných modulů lze libovolně volitelně modulárně uspořádat řídicí systém a optimalizovat tak funkčnost i dodatečné náklady.
- CPU má také dvě rozhraní Profinet umožňující snadné a úsporné vytváření sítě s liniovou topologií, což bylo oceněno zejména při vytváření spojení s HMI.
- *CPU má velký rozsah programové paměti a množství rámců.*
- *Vysoký výkon zpracování dat.*
- *Používá se jako centrální řídicí prvek do výrobních linek s centrální a distribuované I / O.*
- *Integrované rozhraní PROFINET.*
- *Integrované rozhraní MPI, což bylo využito při prvním nahrání HW konfigurace.*
- *PROFINET proxy pro inteligentní zařízení na sběrnici PROFIBUS DP v Component Based Automation (CBA).*
- *PROFINET IO Controller pro provoz distribuované I / O na PROFINET.*
- *Kombinované MPI / PROFIBUS DP master / slave rozhraní.*
- *Izochronní režim na sběrnici PROFIBUS.*
- *Micro Memory Card potřebné pro provoz CPU[12].*



Obrázek 6. CPU 315-2 PN/DP[12]



CPU			
SIMATIC S7-300	CPU 315-2 PN/DP ☒	CPU 317-2 PN/DP	CPU 319-3 PN/DP
<b>Pracovní paměť</b>	128kB 64kB až 8MB	512kB 64kB až 8MB	1,4MB 64kB až 8MB
<b>Čas zpracování</b>			
Bitové operace	0,1 µs	0,05 µs	0,01 µs
Slovo	0,2 µs	0,2 µs	0,02 µs
Pevná čárka	2 µs	0,2 µs	0,02 µs
Pohyblivá čárka	3 µs	1 µs	0,04 µs
<b>S7 časovače/čítače</b>	256/256	512/512	2048/2048
Digitální kanály	1024		
Analogové kanály	256		
Rozhraní			
MPI	■	■	■
PROFIBUS DP	■	■	■
PROFINET CBA, IO	■	■	■

Obrázek 7. Přehled standardních CPU s rozhraním pro PROFINET[1].

Bitové paměti	2048 Byte
S7 časovače / S7 čítače	256 / 256
IEC časovače / IEC čítače	ano
Počet bloků (součet FC,FB a DB)	1024
Adr. rozsah - V/V oblast adresace	2048 / 2048 Byte
Adr. rozsah - V/V oblast procesu	128 / 128 Byte
Adr. rozsah - Digitální kanály	1024
Adr. rozsah - Analogové kanály	256
DP přenosová rychlost	12 Mbit/s
DP počet slave jednotek na stanici	124
DP slave to slave komunikace	ano
PROFINET přenosová rychlost	100 Mbit/s
PROFINET CBA	ano
PROFINET IO	ano
PROFINET S7 komunikace	ano
PROFINET PG/OP komunikace	ano
PROFINET TCP/IP	ano
Rozměry š x v x h [mm]	80 x 125 x 130

Obrázek 8. Parametry CPU jednotky 315-2 PN/DP[11]

Prozkoumání použitelnosti stávajícího PLC dle parametrů uvedených v tabulkách pod čísly obrázku 10 a 11:

- Bitová paměť 2048 Byte je dostatečná (odhadované využití 60%)
- Počet 256 S7 časovačů-čítačů je dostatečný (odhadované využití 80%)
- Počet 1024 bloků FC-FB-DB je dostatečný (odhadované využití 15%)
- Adr. rozsah 1024 pro digitální kanály (odhadované využití 10%)
- Adr. rozsah 256 pro analogové kanály (odhadované využití 2%)
- Profinet přenosová rychlost je dostatečná

Závěr: Stávající PLC CPU 315-2 PN/DP bylo vyhodnocené jako použitelné, a tedy bude použito.

#### **4.1.2. Prozkoumání potřeby vysokorychlostních vstupů**

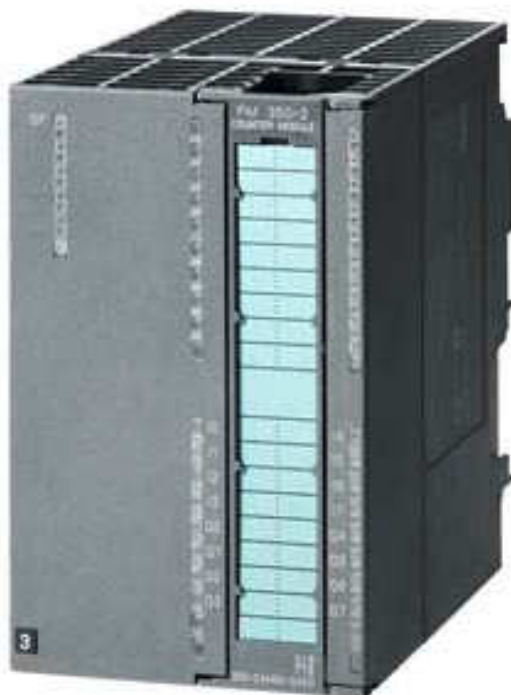
Samotná koncepce strojního zařízení předpokládá použití 3 pevných PFA průtokoměrů viz bod 3.1.1. Byl tedy vysoký předpoklad, že pro danou aplikaci bude potřeba využít třech vysokorychlostních čtecích vstupů. Pokud by nebylo omezení od dodavatelské firmy, optimálnější by bylo použít PLC s integrovanými vysokorychlostními vstupy.

Pořízení další drahé vysokorychlostní karty by znamenalo pro dodavatelskou firmu vyšší náklad za projekt. Samotné pořízení muselo být tedy podloženo vhodnými argumenty, popřípadě testy.

Dle katalogových listů snímačů bylo uvedeno, že snímač odesílá *2000 Impulsů /l při vodě o teplotě 20 °C* [14]. V případě, že rychlost čtení pulsů standardní digitální kartou by byla dostatečná, nebylo by potřeba další vysokorychlostní kartu k danému projektu objednávat a dodavatelská firma by tím ušetřila.

Samotné prověření proběhlo formou testů, které jsou uvedeny pod bodem 8.3. S výsledky testů byl obeznámen koncový zákazník, bylo uvedeno, kolik litrů za minutu jsme schopni do strojního zařízení napouštět ze stávající klasickou digitální kartou. Pro koncového zákazníka tato rychlost nebyla dostatečná, proto byl potvrzen záměr pořízení doplňující vysokorychlostní karty viz výběr dle bodu 4.1.3.

#### **4.1.3. Výběr karty vysokorychlostních vstupů**



Obrázek 9. Funkční modul FM350-2 [19]

S vazbou na výsledky testů viz bod 8.3, znalosti nabyté ve VŠB TU Ostrava a technické parametry byl pro danou aplikaci vybrán funkční modul FM350-2.

#### Vlastnosti modulu:

*FM 350-2 1 je inteligentní modul pro načítání impulzů, je 8-kanálový modul pro načítání impulzů a měření frekvence až do 20 kHz.*

*S těmito moduly můžete také měřit frekvence, rychlost a periodu v distribuovaných systémech [3].*

Může být spuštěn a zastavován buď pomocí uživatelského programu (software gate), nebo přes externí signály (hardware gate).

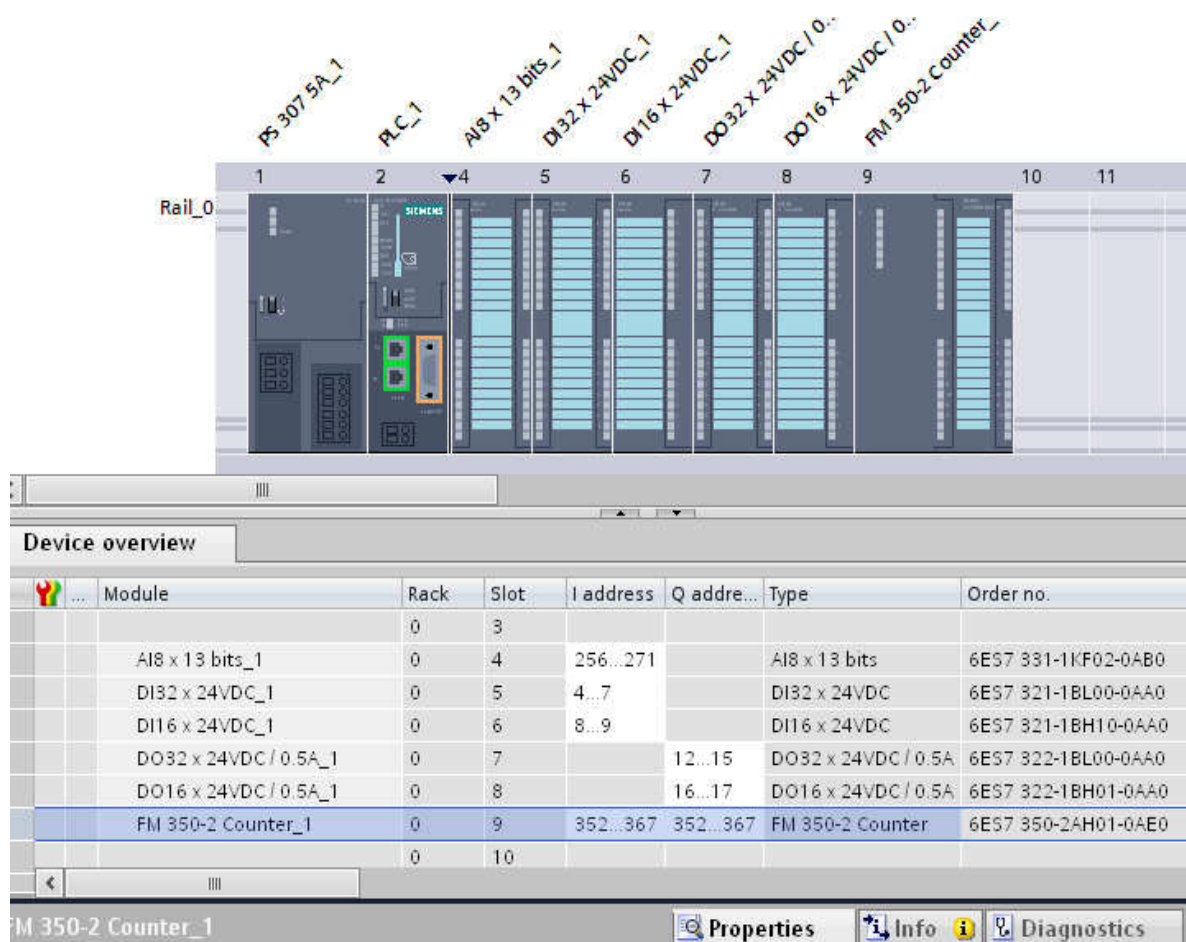
Maximální počítací rozsah FM 350-2 je od -2 147 483 648 až do 2 147 483 647 .

#### *Použití:*

- *Spojité čítání*
- *Jednoduché čítání*
- *Periodické čítání*
- *Měření frekvence*
- *Měření rychlosti*
- *Měření periody[3]*

#### **4.1.4.      Výběr přídatných karet dle výstupu bodu 3.1**

Karty byly vybírány z produktové řady Simatic dle potřeb vstupů a výstupů viz bod 3.1. Pro snadný výběr konfigurace lze použít program *SIMATIC Selection Tool* [10] od firmy Siemens, který je volně ke stažení. Zejména se to doporučuje při používání starších verzí programu. V případě využití programového prostředí TIA V11 není potřeba při konfiguraci středně náročných aplikací využívat výše zmíněný konfigurační nástroj, protože výběr HW komponentů v prostředí TIA V11 je ve vysoké míře přehledný a výběr je intuitivní. Tedy pro naši aplikaci byly karty vybrány přímo v daném programovém prostředí viz příložený obrázek.



Obrázek 10. Konfigurace PLC Siemens v programovém prostředí TIA V11

## 4.2. Návrh a výběr HW komponentů k řešení rozhraní člověk – stroj

Pro správný výběr HW komponentů k řešení rozhraní člověk-stroj bylo nezbytné si uvědomit základní principy a potřeby tohoto rozhraní.

### 4.2.1. Co je to rozhraní člověk-stroj

Rozhraní člověk-stroj (dále jen HMI) je místo, kde se setkává technologie s člověkem. Může jít o stlačení tlačítka na ručním přístroji, tak i o stlačení tlačítka na velké přístrojové desce atomové elektrárny[15].

### 4.2.2. Co je úkolem HMI.

Úkolem HMI je provést jasně, přehledně a pochopitelně funkcionalitu technologie. Dobře navrhnuté HMI se musí přizpůsobit myšlenkám obsluhy při plnění jejích úkolů. Efektivnost realizace HMI pro téměř všechna technologická řešení může určit míru přijatelnosti tohoto produktu budoucími uživateli[15].

#### **4.2.3. Definice kvality použitelnosti dle ISO**

Norma ISO 9241 definuje tři charakteristiky kvality použitelnosti pro vývoj HMI:

užitečnost – vykonává produkt, to, co vyžaduje uživatel?

efektivnost- je schopen uživatel rychle osvojit si způsob komunikace?

spokojenost – jsou uživatelé spokojeni s výsledným produktem? [15]

#### **4.2.4. Co bylo bráno v úvahu pro výběr HW komponentů**

Pro výběr komponentů k realizaci rozhraní člověk - stroj byl brán v úvahu způsob koncového užití daného strojního zařízení, požadavky bodů 4.2.2 a 4.2.3, požadavky koncového zákazníka a požadavky dodavatelské firmy. Obsluha daného zařízení bude pracovat v čistých prostorech ve speciálních oblecích. Je tedy nutno zajistit, aby pro běžnou provozní činnost byly využívány zejména přídruhá doplňková mechanická tlačítka, protože manipulace ve speciálních rukavicích s dotykovým panelem je obtížná. Tedy samotný návrh musí být především uživatelsky příznivý. Provozní stavy mají být dostatečně viditelné a zobrazovány na velkém dotykovém panelu.

Koncepce rozhraní:

- základní provozní ovládání bude provedeno za pomoci mechanických tlačítek
- provozní stavy budou zobrazeny na velkém, alespoň 10 palcovém displeji

#### **4.2.5. Výběr HW komponentů**

Pro základní provozní ovládání byla vybrána mechanická tlačítka včetně signalizace dle zvyklostí dodavatelské firmy. Jako vhodný dotykový displej byl vybrán displej značky Siemens HMI KTP1000 Basic PN. Důvody tohoto výběru byly:

- Vysoké rozlišení a dostatečná velikost obrazovky (10,4 palcový TFT displej s 256 barvy a rozlišením 640 x 480 pixelů).
- Příznivá pořizovací cena.
- Provozní flexibilita díky kombinaci kláves a dotykového ovládání (8 volně konfigurovatelných funkčních kláves).
- Splnění požadavků koncového zákazníka a zadavatele.
- Lze použít na celém světě s 32 konfigurovatelnými jazyky.
- Vhodný design a funkce.
- Kompatibilní s programovým prostředím TIA V11.
- Vyhovující předpokládaným potřebám.

### 4.3. Popis realizace řídicího systému

Z důvodu zadání diplomové práce byl popis zobrazen a specifikován pouze k fyzické realizaci PLC.

PLC bylo sestaveno z předem vybraných komponentů viz bod 4.1.4 a upevněno na speciální nosnou lištu firmy Siemens RAIL. Takto připravený komplet byl dále fyzicky namontován na šasi, které je odnímatelnou konstrukční součástí rozvaděče MN viz bod 3.1.1. Do takto připraveného šasi se dále doplnily další projektované komponenty, které byly určeny pro přenos MN a vodiče byly propojeny patřičnými vodiči. Takto předchystané šasi bylo vhodnou pomůckou při testování funkčnosti základních bezpečnostních funkcí programu viz bod 8.2. Celkové otestované šasi bylo namontováno trvale do rozvaděče MN ze zadní strany stroje. Zadní část stroje se nachází v šedých prostorech, které jsou přístupné pouze servisním technikům.



Obrázek 11. Šasi rozvaděče MN

#### 4.4. Popis realizace rozhraní člověk - stroj

Fyzické umístění komponentů k realizaci rozhraní člověk-stroj bylo realizováno dle ergonomických, bezpečnostních a provozních zásad uživatele.

Střed dotykového displeje značky Siemens byl umístěn ve výšce 180 cm od podlahy. Mechanická tlačítka byla umístěna ve výšce 140 cm od podlahy. Dotykový displej a mechanická tlačítka byla soustředěna na jednom místě a umístěna v levé části stroje, které bude volně dostupné v čistých prostorech k manipulaci běžnou obsluhou.

Pod mechanickými provozními tlačítky bylo dále umístěno tlačítko Central stop, které svým provedením a umístěním vyhovuje všem běžným standardům technických norem.

Zadní část displeje a mechanických tlačítek je přístupná pro servis v šedých prostorech, a to za použití speciálního nástroje k odemčení ochranného průhledného krytu.

Hlavní signalizační sloupek je umístěn na horní levé části stroje tak, aby byl pro obsluhu viditelný z co možná největší vzdálenosti.



Obrázek 12. Ovládací panel strojího zařízení

## **5. Návrh a realizace SW, algoritmizace řídicích úloh a implementace řídicího programu.**

Program je uveden formou přiloženého souboru:

Příloha 4: Program PLC\_HMI

### **5.1. Popis způsobu realizace řídicího programu**

#### **5.1.1. Výběr programovacího jazyka**

Jeden z hlavních klíčů při samotné tvorbě programu byla vhodná volba programovacího jazyka. Pro vytváření řídicího programu PLC známe více programovacích jazyků, které lze aplikovat. Programátoři, kteří dlouhá léta pracovali za pomoci textových platforem (C, C#, Pascal a pod.), preferují pro vytváření programu jazyk ST (strukturovaný text). Nicméně hlavním kritériem pro volbu programovacího jazyka nemá být pouze zkušenost programátora, ale hlavně účelnost použití. Pro řešení programu pro toto strojní zařízení byl s ohledem na účel použití vybrán programovací jazyk LD (Ladder Diagram).

*Ladder diagram je grafický jazyk, který lze použít jak pro psaní programů, tak pro definování podmínek v Sequential Function Chartu. LD byl IEC vyvinut s ohledem na většinu obecně používaných symbolů a terminologie u běžných PLC. LD je založen na technice návrhu reléových obvodů[1]. Samotný programovací jazyk LD má své pozitivní i negativní vlastnosti, které byly hlavním klíčem k výběru daného jazyka.*

a) Seznam pozitiv LD:

- přehlednost zápisu
- urychluje způsob programování logických funkcí pro čítání a časování
- vhodný pro zpracování velkého počtu vstupů a výstupů
- je zde jasně definovaná postoupnost zápisu
- vhodné při detekci poruchových stavů HW i SW (servis)

a) Seznam negativ LD:

- hůře pochopitelný program pro klasické programátory (C, C#, Pascal a pod.)
- méně vhodné pro výpočty (aritmetické operace)
- s úrovní složitosti narůstá rychle i délka programu

Při vytváření struktury programu se vycházelo hlavně se znalosti negativ LD. Zejména z faktu, že rychle narůstá délka programu. Proto bylo nevyhnutné celkovou strukturu programu uzpůsobit logicky do jednotlivých bloků FB a FC, i za cenu vzájemného vnořování programu (vícenásobné volání FC a FB) bude program přehledný a tedy čitelný. Další negativum složitosti vytváření aritmetických operací bylo řešeno včleněním a logickým uspořádáním aritmetických operací do jednotlivých FC a FB.



### **5.1.2. Definování jednotlivých kroků řídicího programu**

Samotné kroky jednotlivých požadovaných činností byly definovány zadavatelem a koncovým zákazníkem, a to prostřednictvím popisu v xls tabulce viz:

Příloha 5: Options assembly B process.xls

Tato tabulka uváděla pouze hrubý popis jednotlivých funkčních kroků pro jednotlivé požadované procesy. Všechny kroky jednotlivých procesů bylo tedy nutné prodiskutovat s koncovým zákazníkem.

### **5.1.3. Logické rozčlenění provozních činností**

Provozní činnosti byly logicky rozděleny do dvou skupin, a to:

- a) procedur B, které byly určeny k základním provozním činnostem, k leptání a čištění křemíkových komponentů;
- b) procedur C, které byly určeny k servisním účelům, pro dodatečné čištění určených částí strojního zařízení.

Pro potřebu vyšší přehlednosti byly procedury B dále logicky rozčleněny, dle použití leptací a čistící vany, a to na :

- procedury pro „Small pool“ (leptání a čištění prostřednictvím malé nádrže) B1-B6
- procedury pro „Main pool“ (leptání a čištění prostřednictvím velké nádrže) B7-12
- procedury pro „Injecting“ (vnitřní leptání a čištění trubíc prostřednictvím velké nádrže) B13-B18

dle použití vstupních nádrží se směsí (tanků) , a to na :

- procedury s využitím tanku 1 (liché označené procedury B)
- procedury s využitím tanku 2 (sudé označení procedur B)

Obdobné logické členění a nadefinování platilo i pro procedury typu C.

### **5.1.4. Definování poměrů směsí HN03-DIW-HF**

Požadavek koncového zákazníka definoval možnost libovolné úpravy poměru složek DIW-HF-HN03 pro vytváření výsledných směsí, které měly být libovolně přiřazovány různým procedurám B. K tomuto účelu bylo nadefinováno řízení jednotlivých poměrů složek jako výsledná receptura A. S vazbou na flexibilní potřebu zadávání jednotlivých poměrů složek, bylo zadávání vytvořeno jako volné, formou jednotlivých poměrů složek které bylo možné zadávat v různém součtu jednotlivých poměrů. Koncovému zákazníkovi bylo pomocí návodu k obsluze doporučeno zadávání formou součtu v celkové hodnotě 100, tedy myšlených 100%.

#### **5.1.5. Způsob definování celkového běhu procesu**

Celkový proces je nutno vytvářet z jedné procedury B, kterou tvoří 18 nadefinovaných možností, jedné procedury C, kterou tvoří 7 nadefinovaných možností a jedné receptury A, kterou tvoří 10 libovolně flexibilně předdefinovaných směsí. Toto vedlo k potřebě vytvoření nástroje, do kterého se definice celého postupu procesu ukládala. Jako vhodný prostředek bylo zvoleno definování procesů za pomoci 10 maker. Každé makro tedy obsahovalo definici procedury B, procedury C a receptury A a bylo možné ho různě sestavovat v servisním menu. Obsluha strojního zařízení aktivovala již předdefinovaná makra dle předepsaných výrobních postupů.

#### **5.1.6. Servis**

Samotné zařízení musí být pro obsluhu omezeno pouze pro spuštění základních činností tak, ať se eliminuje možnost vzniku chybného zadávání parametrů. Toho bylo docíleno logickým omezením zadávání parametrů pomocí specifických servisních obrazovek, které jsou zpřístupněny pouze po zadání servisního hesla. (Tedy obsluha má přístup pouze k čidlům pro volbu makra a vizuální kontroly probíhajícího procesu.)

#### **5.1.7. Omezování zadávaných hodnot**

Jednotlivé parametry procesů jsou zadávány v servisních obrazovkách. Bylo nutné omezit parametry pro zadání nekorektních hodnot jednotlivých parametrů. Toho bylo docíleno přímo programově, a to tím, že v programu se každá zadávaná hodnota srovnávala s maximální, popřípadě minimální limitní hodnotou. V případě, že tato zadávaná hodnota překročila limitní hodnotu, byla automaticky přepsána na limitní a vyznačena barevným označením na dotykovém displeji.

#### **5.1.8. Ukládání vložených parametrů**

Každý vložený parametr bylo nutné uchovávat i v případě vypnutí daného zařízení z elektrické sítě. Toho bylo docíleno využitím datových bloků s „retain“ nadefinovanou pamětí pro ukládání jednotlivých zadaných parametrů v servisním menu. Stejný způsob je aplikován i pro parametry, které vznikají při běhu procesu. Kupříkladu zde uvedu potřebu uchování poměrových složek směsi v leptacích nádržích v případě odpojení zařízení od sítě tak, aby bylo možné danou směs při volbě nového procesu srovnat s požadovaným poměrem směsí, a tedy v případě nekompatibility řízeně zastavit proces.

Samotné ukládání jednotlivých parametrů v servisních obrazovkách je záměrně podmíněno schvalováním, protože se tím vymezuje možnost zadání chybných parametrů vlivem lidské nepozornosti. Tedy pokud je zadán nový parametr, program se automaticky dotazuje, jestli doopravdy změnu provést.

Za účelem výrazného zjednodušení programu byla využita funkce „BLKMOV“, která je schopná přenášet více parametrů najednou, a tedy není nutné přesouvat parametry po jednom samostatně. Tato funkce byla hlavním nástrojem pro přenos dat z datových bloků.

## **5.2.Struktura programu s vazbou na bezpecnost**

Jak již bylo zmíněno, bezpečnost je jedna ze základních vlastností strojního zařízení, která plyne z posuzování jednotlivých rizik. Samotné zařízení kromě základních HW bezpečnostních prvků musí také oplývat naprogramovanou SW bezpečnostní logikou, která specifikuje chování daného zařízení a tím vymezuje možnost vzniku neřízených situací, které by mohly vést ke škodám, popřípadě ke vzniku pracovního úrazu. Tedy samotné chování programu musí postihovat všechny standardní, ale i specifické situace, do kterých se může dle specifikovaného způsobu použití působením různých vlivů zařízení dostat.

### **5.2.1. Struktura základní bezpečnostní smyčky programu**

Před samotným zahájením tvorby programových činností, plynoucích z potřeby logicky provázaných procesů, je nutné nejdříve vytvořit základní strukturu programu, popisující chování při vzniku poruchových stavů. Toto chování je základním pilířem bezpečnostní části programu, které vymezuje a řídí chování zařízení při vzniku nežádoucích situací. Pro rychlé odstraňování vzniklých poruch a eliminaci příčin vzniku poruchových stavů je nutné, aby vzniklé poruchové stavy byly zapsány do trvalé paměti, kterou lze smazat až po přímém zásahu servisního technika.

Jednotlivé poruchové stavy jsou vymezeny do definovaných skupin poruch. Toto opatření má za následek optimalizaci nežádoucích případných ztrát vzniklých vlivem jednotlivých poruch.

#### **Poruchy A:**

„Poruchy A“ jsou definovány jako základní poruchové stavy, při kterých je nutné okamžitě zastavit proces. Z toho také byla odvozena logika činností provádějící se při aktivaci těchto poruchových stavů.

Při aktivaci poruchového stavu typu A dojde k okamžitému zastavení procesu, uvedení do bezpečného stavu, deaktivaci signálu pro bezpečný provoz (zelená signálka), aktivaci signálky poruchového stavu (červená signálka), aktivaci zvukové výstražné signalizace a zobrazení typu poruchy na dotykovém displeji.

Pro deaktivaci poruch je nutno provést odstranění příčin poruch za pomoci tlačítka „reset“ restart celého systému.

Z důvodu potřeby další optimalizace důsledků příčin vzniku chyb byly poruchy A rozděleny do dalších dvou kategorií.

#### **Poruchy A1:**

První kategorií jsou „poruchy A1“, při kterých je zakázána možnost použití servisního režimu „manuál“, ve kterém lze provádět řízené zásahy, tedy řízené drobné podprocesy. Půjde tedy o nejzávažnější poruchy systému, z důvodu kterých nelze provádět bezpečně ani řízené dílčí procesy.

### Poruchy A2:

Druhou kategorií těchto poruch jsou „poruchy A2“, které sice okamžitě ukončí aktuální proces, ale povolí v servisním módu, který je chráněn heslem, v režimu „manuál“ provádět dílčí řízené činnosti, které jsou určeny k eliminaci případných škod na materiálu, popřípadě chemikáliích určených pro čisticí proces.

### Poruchy B:

„Poruchy B“ jsou definovány jako méně závažné poruchové stavy, které jenom nepatrně ovlivňují výsledek aktuálně probíhajícího procesu, tedy není nutné okamžité zastavení procesu. Z toho také byla odvozena logika činností provádějící se při aktivaci těchto poruchových stavů.

Při aktivaci poruchového stavu typu B nelze spustit nově nadefinovaný proces, deaktivuje se signál pro bezpečný provoz (zelená signálka), aktivuje se signál výstrahy (žlutá signálka), aktivuje se zvuková výstražná signalizace a zobrazí se typ poruchy na dotykovém displeji.

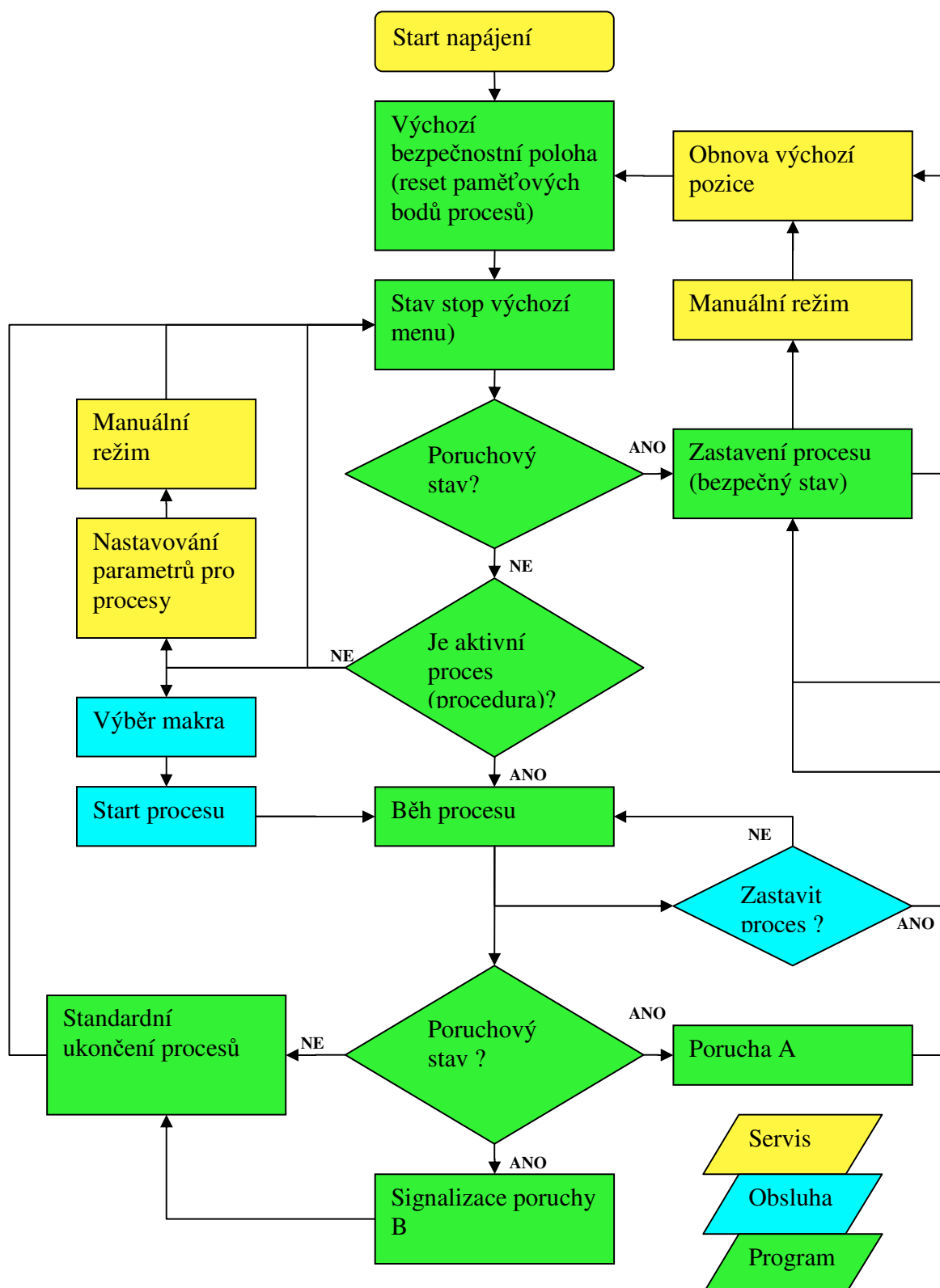
Pro deaktivaci poruch je nutno provést odstranění příčin poruch za pomoci tlačítka „reset“ restart celého systému.

### Poruchy manuál:

„Poruchy manuál“ jsou definovány jako poruchové stavy, které vznikají při běhu dílčích podprocesů v režimu „manuál“. Z toho také byla odvozena logika činností provádějící se při aktivaci těchto poruchových stavů.

Při aktivaci poruchového stavu typu manuál nelze spustit nově nadefinovaný proces, zastaví se aktuálně probíhající dílčí podproces, deaktivuje se signál pro bezpečný provoz (zelená signálka), aktivuje se poruchový signál (červená signálka), aktivuje se zvuková výstražná signalizace a zobrazí se typ poruchy na dotykovém displeji.

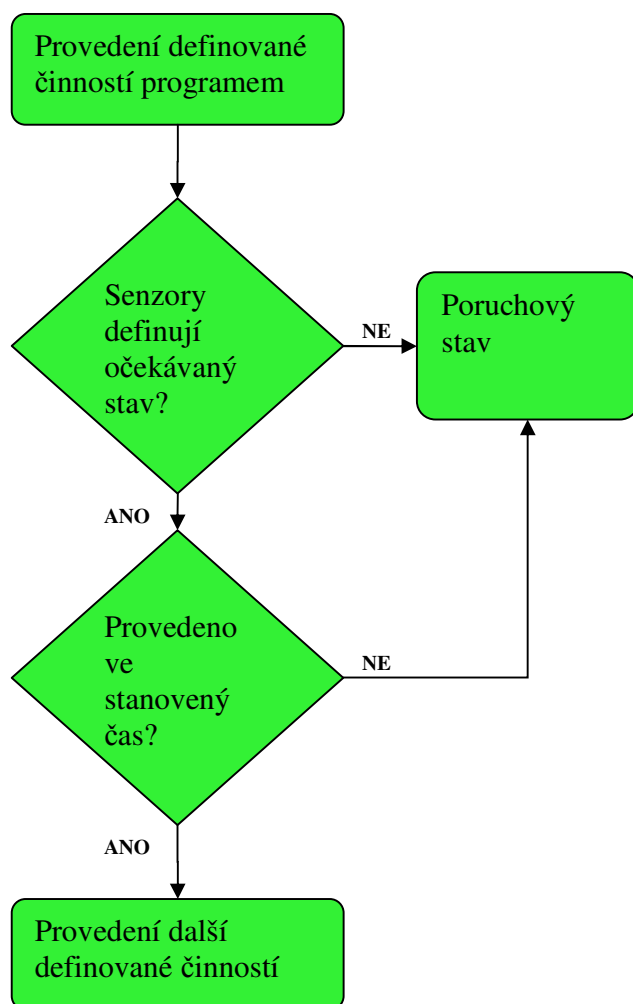
Pro deaktivaci poruch je nutno provést odstranění příčin poruch za pomoci tlačítek na dotykovém displeji v režimu manuál reset poruchových stavů.



Obrázek 13. Vývojový diagram základní bezpečnostní smyčky programu

### 5.2.2. Kontrolní smyčka běžících procesů

Při běhu jednotlivých procesů, popřípadě podprocesů, nestačí jenom kontrolovat vznik základních příčin poruchových stavů, ale je nutno kontrolovat také správnost provedení jednotlivých kroků programu. Toto je důležité zejména z důvodu možného selhání jednotlivých senzorů, popřípadě akčních členů. Například při vypouštění kapaliny z nádrže, ve které je spodní úroveň hladiny hlídána za pomoci plovákového spínače, je nutné také hlídat čas vypouštění, protože může dojít k selhání daného senzoru, a tedy proces nebude nikdy ukončen, protože bude pořád očekávat indikaci daného senzoru. Níže bude za pomoci vývojového diagramu uveden obecný průběh dílčí kontroly běžících procesů. Samozřejmě jde pouze o obecný popis, tedy jednotlivé dílčí kontroly prováděných kroků jsou vymezeny a přizpůsobeny povaze dané konkrétní činnosti.



Obrázek 14. Vývojový diagram kontrolní smyčky běžícího procesu

### 5.3.Struktura programu s vazbou na požadované řídicí činnosti

Na základě popisu požadovaných řídicích úloh viz bod 5.1 a s vazbou na koncepci bezpečnosti viz bod 5.2 vyplynul logický důsledek potřeby rozdělit program do jednotlivých sekcí s použitím funkčních bloků FB a funkcí FC. V případě, že by program nebyl rozdělen do těchto bloků, by vznikl obrovský nepřehledný blok informací, který by se dal dále spravovat pouze s velkými finančními ztrátami pro koncového zákazníka. Struktura a uspořádání jednotlivých bloků byla vytvářena zejména s ohledem na případný zpětný servisní zásah. Tedy program musel být logicky rozdělen do jednotlivých bloků tak, aby se mohlo rychle detekovat, ve kterém bloku programu nastala chyba, a tím za cenu co nejmenších ztrát tuto chybu přesně a rychle lokalizovat a odstranit. Dalším faktorem při rozhodování o uspořádání do bloků, byla potřeba optimalizace programu. Toho bylo docíleno tím, že opakující se sekvence programu byly uspořádány do samostatných bloků a tyto bloky byly pak vícenásobně použity v jednotlivých částech programu. Toto opatření kromě zjednodušení programu a zrychlení odhalování nedostatků přineslo i výraznou úsporu dispoziční paměti daného CPU. Samotný řídicí program je umístěn v organizačních blocích.

*Organizační bloky určují pořadí, ve kterém jsou jednotlivé programové sekce prováděny.*

*Provádění OB voláním jiného OB. Který OB je oprávněn přerušit jiný OB, závisí na prioritě. Bloky s vyšší prioritou mohou přerušit bloky s nižší prioritou[1].*

Jako první organizační blok byl použit blok OB100, který slouží ke spuštění, tedy k restartu celého systému.

*Během startu systému volá operační systém příslušné OB100 (kompletní restart ) a OB 101 (restart). Tyto bloky jsou vyvolány následujícími událostmi – zapnutí napájení, přepnutí STOP-RUN, pokud je restart iniciován programovacím zařízením. Napsáním programu do těchto OB lze specifikovat chování PLC při startu. Není zde omezení délky ani prováděcí doby programu v těchto OB. Přerušování těchto OB není možné[1].*

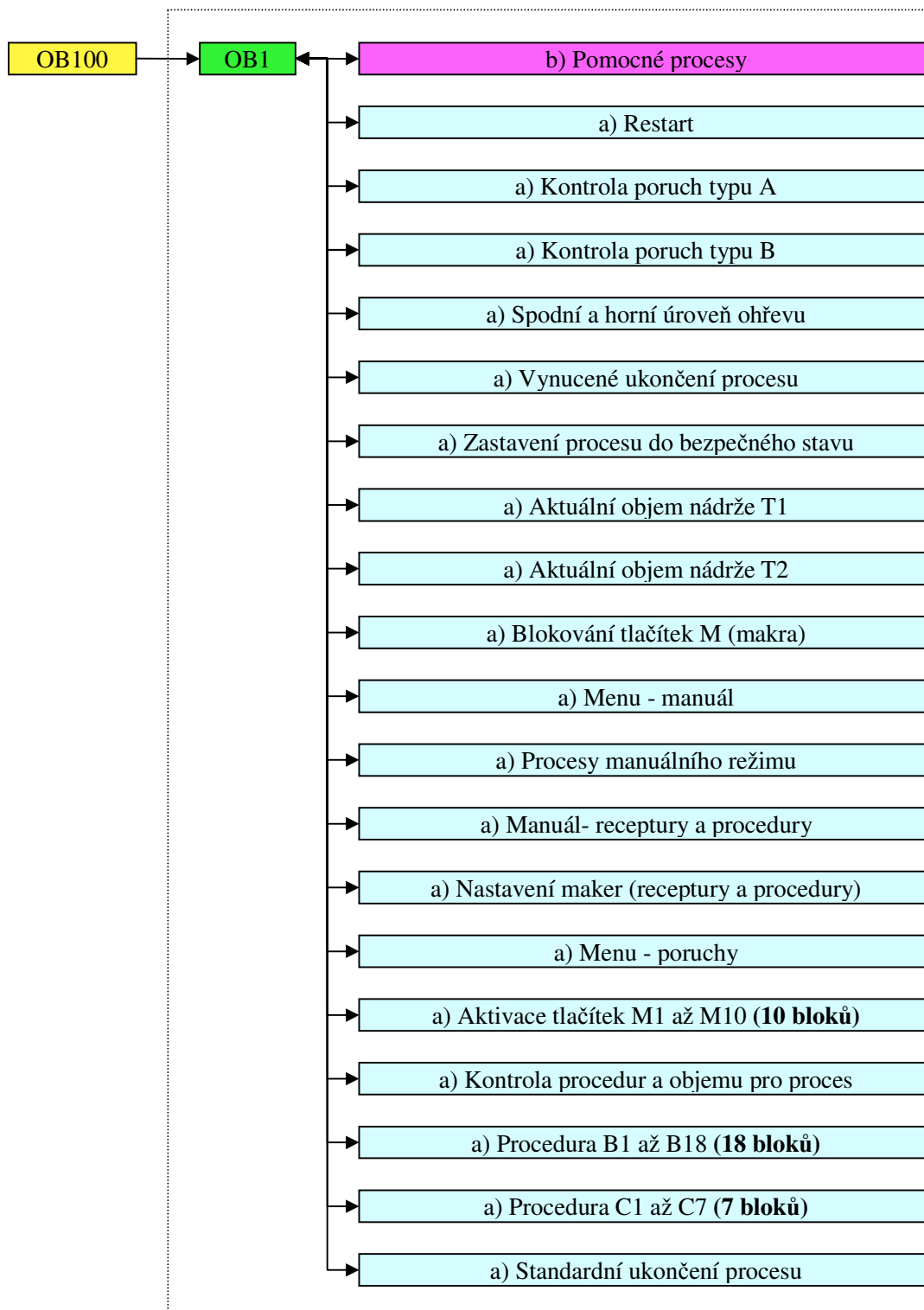
Zbývá část řídicího programu je umístěná do organizačního bloku OB1, a to za použití logického uspořádání funkčních bloků a funkcí.

*Operační systém volá OB1 cyklicky. Jelikož CPU má obrazy I/O, neadresuje vstupy a výstupy přímo na I/O moduly, ale přistupuje k interní paměťové oblasti, které tyto obrazy obsahují. Cyklický program začíná ihned po ukončení startovacího programu. Může být přerušen přerušováním, příkazem STOP, výpadkem napájení nebo chybou [1].*

#### 5.3.1. Uspořádání funkcí a funkčních bloků v OB1

Samotné uspořádání bloku bylo voleno s ohledem na popis viz bod 5.3. Celkový počet jednotlivých činností, tedy specifických bloků plynoucích z potřeb procesů, byl natolik rozsáhlý, že byla potřeba provést další dodatečné opatření, které zajistí vyšší přehlednost programu. Toto bylo docíleno logickým roztříštěním programu na dva celky:

- a) Činností popisující přímé kroky požadovaných činností, popřípadě důležité podpůrné činností, které byly umístěny přímo do těla OB1 přes svoje specifické FC a FB;
- b) Pomocné činnosti sloužící jako podpůrné části programu, které byly umístěny také do OB1, ale prostřednictvím FC „Pomocné procesy“.

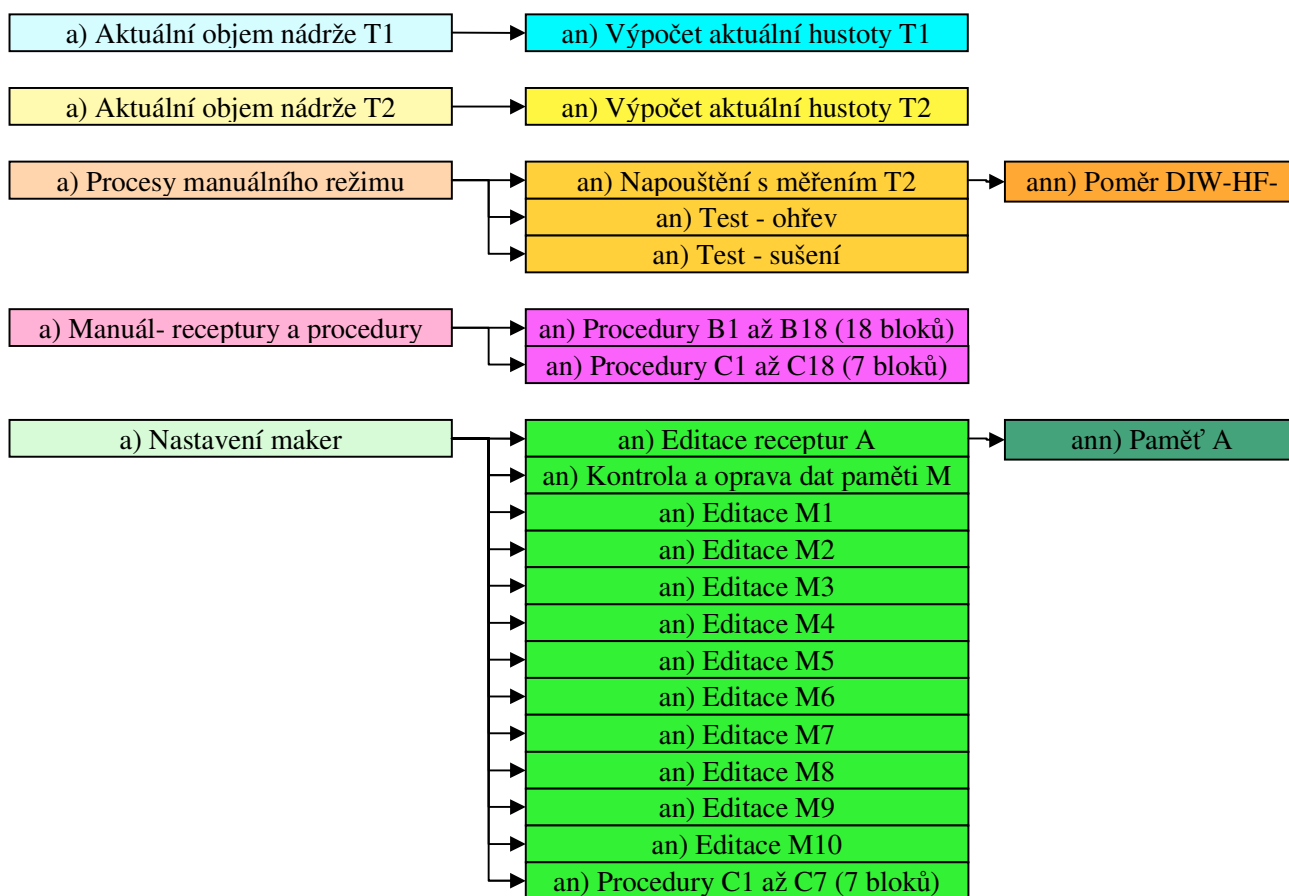


Obrázek 15. Struktura FC a FB v organizačním bloku OB1



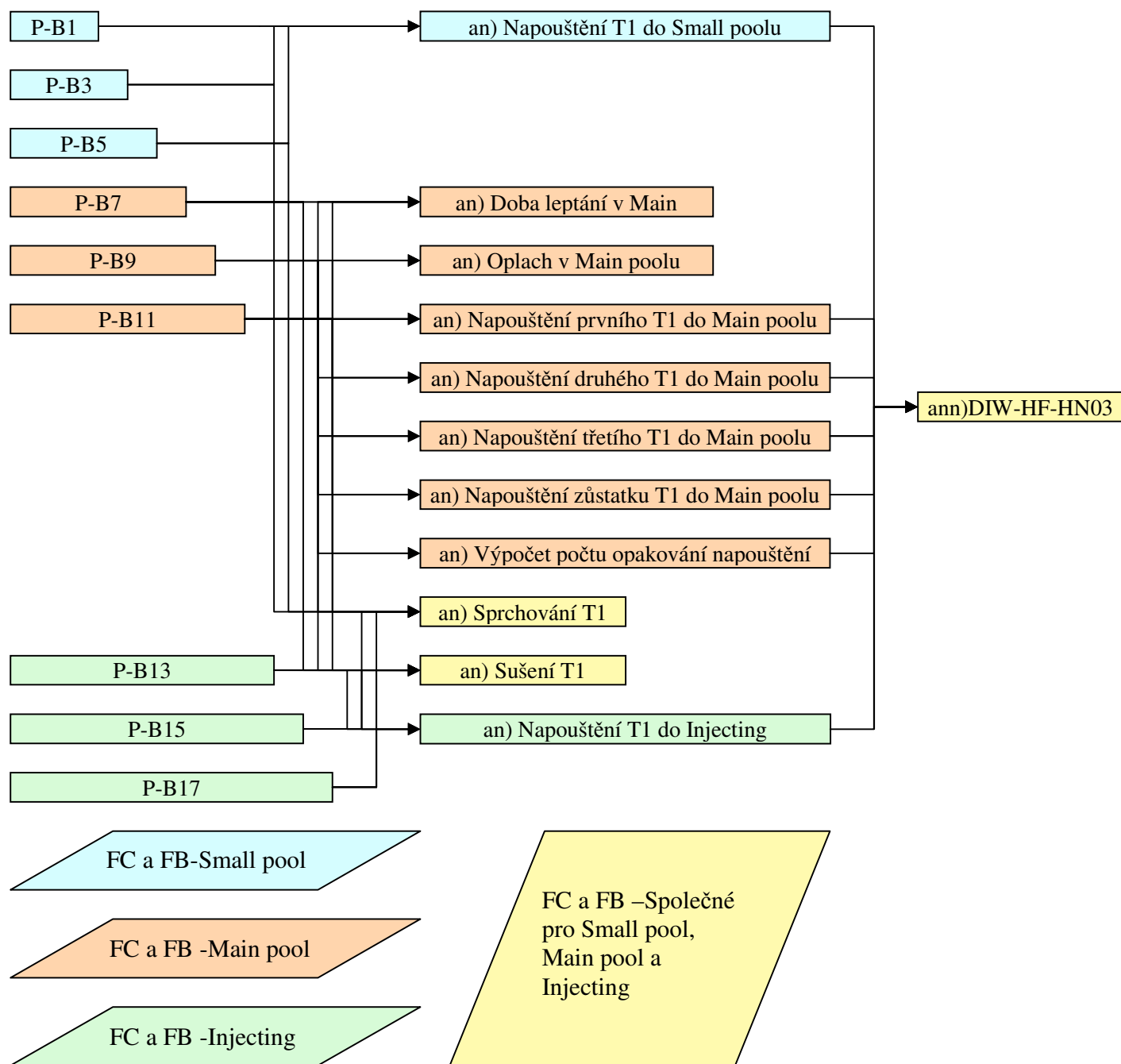
### 5.3.2. Popis struktury dílčího vnořování

Samotné uspořádání programu do FC a FB v organizačním bloku OB1, byl jenom první krok ke zpřehlednění a optimalizaci programu. Pro další zvýšení úrovně přehlednosti a optimalizace programu, vyžadující si potřebu aplikace použitého programovacího jazyka viz popis bodu 5.1 se i v rámci jednotlivých FC a FB volaly další dílčí FB a FC, tedy byly do těchto kořenových bloků logicky včleněny. Níže formou popisných diagramů je znázorněno uspořádání těchto vnořených FC a FB.



Obrázek 16. Struktura částí FC a FB ve vícenásobném vnoření

Na obrázku 19 je uvedeno vnoření (volání) dílčích FC a FB v rámci nadřazených kořenových FC a FB, které jsou volány přímo z hlavního organizačního bloku OB1. Samozřejmě kromě vnořených (volaných) dílčích FC a FB mají kořenové FC a FB svůj specifický kód programu napsaný v programovém jazyku LD.



Obrázek 17. Struktura FC a FB ve vícenásobném vnoření do bloků procedur.

Na obrázku 20 je znázorněna vzájemná svázanost jednotlivých FC a FB pro běh procedur s lichým označením B1 až B17. Obdobná vzájemná svázanost platí i pro sudé procedury B2 až B18 a také pro procedury C1 až C7. Jednotlivé dílčí bloky činností jsou volány z několika definovaných procedur, toto opatření mělo za následek zestržení, tedy zefektivnění provedení celého programu. Bližší specifikace celkového uspořádání FC a FB včetně popisu účelu jednotlivých bloků bude uvedena pod bodem 5.6.

## 5.4. Návrh a realizace komunikace mezi PLC a HMI

Komunikace mezi HMI a PLC byla řešena formou ethernetové platformy Profinet.

*Sběrnice Profinet využívá standardy používané v ethernetové komunikaci. Se sběrnicí Profinet přišla na trh firma Siemens, která mezi prvními ve spolupráci s firmou ANF Data uvedla na trh tuto sběrnici. Ve spolupráci s mezinárodní organizací Profibus International byl definován rozsáhlý standard nazvaný Profinet, který vycházel ze standardu Ethernet a umožňoval další možnosti, které nebyly do této doby možné s využitím sběrnice Ethernet, jak ji dnes známe [6].*

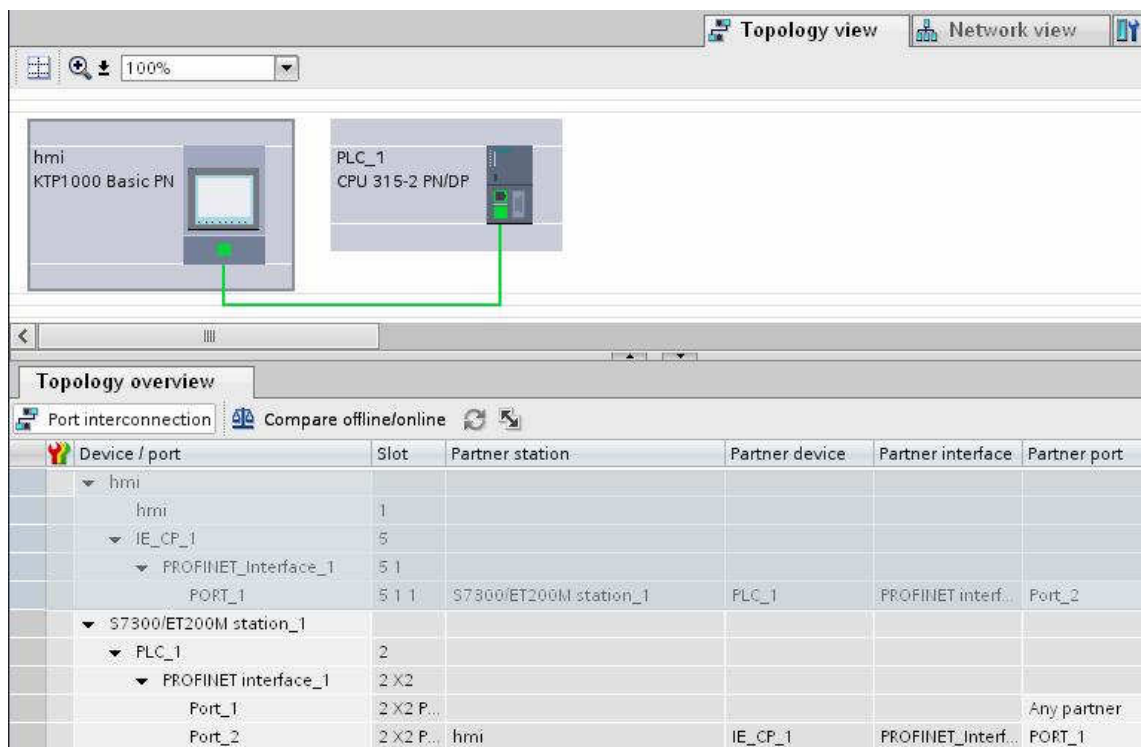
*Byla vyvinuta za účelem:*

- ~ Plné integrace s IT na vyšších úrovních.
- ~ Zvýšení flexibility distribuované automatizace.
- ~ Využití bezdrátových technologií v průmyslu.
- ~ Zajištění odezvy v reálném čase [2].

Nastavení komunikace bylo provedeno v prostředí TIA V11 viz obrázek topologie 21.

Samotné CPU mělo k dispozici dva Profinetové porty pro připojení. Jeden port byl využit k přímému spojení kabelem s HMI a druhý port byl připojen k serveru vzdálené správy INSYS viz popis dle bodu 0.

Další přídatná zařízení jako web kamera a PC pro aktualizování programu byly připojeny přímo do připojovacích konektorů serveru pro vzdálenou správu INSYS.



Obrázek 18. Zobrazení topologie komunikace mezi panelem HMI a PLC v prostředí TIA V11

## 5.5. Realizace části výpočtů

Samotné výpočty byly realizovány v jazyku LD. Nicméně v případě velkého počtu aritmetických operací doporučuji raději pro tyto úkony využít jazyk ST (strukturovaný text). Zde jsou uvedeny pouze specifikace části výpočtů, které byly pro danou aplikaci použity.

### 5.5.1. Výpočet poměrů požadovaných složek

Výpočet poměru složek musel být přizpůsoben požadavku zadávání jednotlivých složek dle potřeby uživatele. Tedy bez definování celkového součtu (maxima) všech poměrových složek.

Toho bylo docíleno použitím vypočteného postupu:

- sečtením všech 3 požadovaných poměrů
- provedením násobení celkového vypočteného požadovaného objemu směsi s jednotlivými poměry složek
- provedením dělení výsledku druhého bodu s celkovým součtem požadovaných poměrů (byl vypočten počet dl pro danou složku)
- převodem dl jednotlivých složek na počty pulsů dle katalogového listu průtokoměru

Výsledkem těchto dílčích výpočtů byla suma požadovaných pulsů pro jednotlivé složky. Tyto pulsy se následně dle potřeby v programu srovnávaly s aktuálním počtem načtených pulsů z průtokoměru a ovlivňovaly chod procesu.

### 5.5.2. Výpočet aktuální hustoty

Jako hlavní podpůrná data pro výpočet aktuální hustoty v tanku slouží definované hustoty jednotlivých složek provozovatelem, protože každá složka může nabývat v reálu různou hodnotu v závislosti na koncentraci jednotlivých kyselin. Celková směs tanku je tvořena součtem třech složek o různých hustotách a v různých poměrech. Pro provozní činnost je nezbytně nutné znát aktuální objem tanků včetně výšky hladiny. Celková hustota patří mezi hlavní parametry, které nám slouží k určení těchto parametrů.

Postup výpočtu:

- sečtení jednotlivých složek směsi dle záznamu poslední požadované receptury pro daný proces uchovávané v DB
- provedení násobení mezi uloženou hodnotou jednotlivých složek dle poslední požadované receptury a nadefinovanou hustotou zadavatele
- sečtení těchto složek do jedné, která tvoří výpočet celkové hustoty tanku

Samotný výpočet obsahuje možnost nadefinování testovací sekvence pro použití složky DIW, jako náhradu za složky HF a HN03. Tímto testovacím módem bylo možné testovat výsledné objemy ze všech částí systému.

### 5.5.3. Výpočet aktuálního objemu v tancích

Pro detekování potřebné veličiny k určení výšky hladiny a celkového objemu v tancích byly určeny senzory hydrostatického tlaku. Výstupem těchto senzorů byla hodnota hydrostatického tlaku v Pascalech (pa), která slouží jako jeden z hlavních parametrů k výpočtu požadovaných veličin. Samotný výpočet byl rozdělen do třech částí.

- První část řešila nestabilitu naměřené hodnoty.
- Druhá část řešila výpočet výšky hladiny.
- Třetí část řešila výpočet celkového objemu v tancích.

#### Nestabilita naměřené hodnoty

Samotná naměřená hodnota v pa byla značně nestabilní, protože neustále klesala a stoupala skokově. Tato vlastnost je pro koncového uživatele nepřijatelná, proto bylo nutné najít způsob, jak danou hodnotu stabilizovat. První opatření, které příznivě ovlivnilo stabilitu daných naměřených hodnot, bylo nastavení optimálního přísunu vzduchu pro měření do dané nádrže, toho bylo docíleno měřením a testy. Druhým opatřením bylo v programu výpočetně zprůměrovat jednotlivé hodnoty naměřené v různých časových okamžicích, které byly nadefinovány časovači.

#### Výpočet výšky hladiny

Samotný výpočet výšky aktuální hladiny byl řešen pomocí obecných pravidel plynoucích z vlastností hydrostatického tlaku. Bylo totiž využito výpočetní pravidlo, které vychází z této obecné poučky:

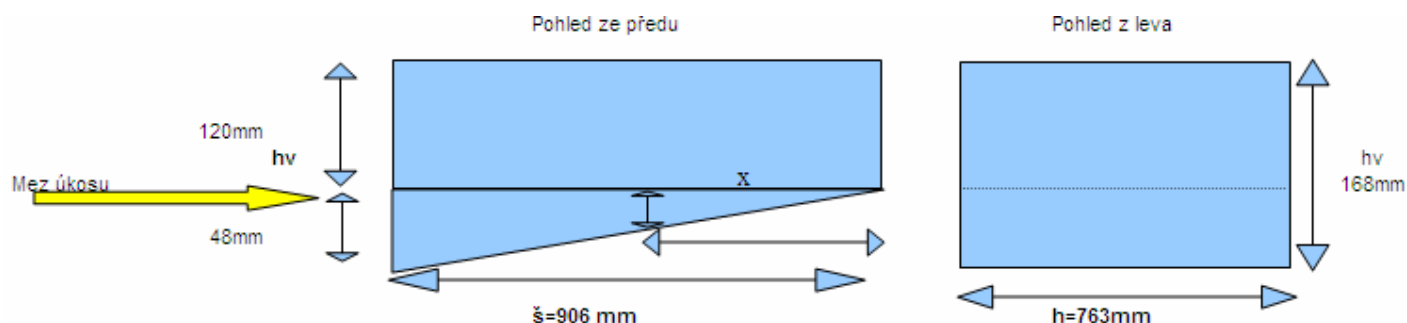
*Hydrostatický tlak je přímo úměrný hloubce  $h$  pod povrchem kapaliny (tj. výšce kapalinového sloupce nad daným místem, bez ohledu na jeho tvar), na hustotě kapaliny  $\rho$  a na tíhovém zrychlení  $g$  [16].*

#### Výpočet aktuálního celkového objemu v tancích

Samotný výpočet aktuálního objemu v tancích byl značně ztížen, a to tvarem samotné nádrže. Proto bylo nutné výpočet rozdělit do dvou částí s ohledem na fyzické rozdělení nádrže. Nádrž, respektive vnitřní světlost nádrže, se dělila na dvě části:

- spodní úkosová část
- horní krychlová část

Abych dosáhl co nejpresnějších hodnot výpočtu v co možná nejvyšší možné míře eliminace chyb plynoucích z dopravního zpoždění, chyb v přenosové cestě a kvality senzorů, aktuální vypočtená výška hladiny byla komparátorem porovnána s nadefinovanou hodnotou, která vymezovala způsob výpočtu výsledného objemu. V případě, že hodnota aktuální výšky hladiny přesáhla stanovenou mez této hodnoty, výpočet automaticky nepočítal s dílčím výpočtem úkosové části objemu, ale zrovna z celkové hodnoty objemu dle celkové maximální výšky světlosti tanku odečetl reálnou maximální hodnotu dané spodní části nádrže. Horní část byla navržena kvadratickým tvarem, tedy dopočítání celkového objemu dle horní nádrže již nebyl žádný problém.



Obrázek 19. Vnitřní světlost tanku (malé nádrže)

### **Výška hladiny nad mezi úkosu:**

$$h_v = P / \rho * g$$

$\rho$  – poměrová hustota složek (DIW, HF, HN03 kg/m<sup>3</sup>)

P- naměřený hydrostatický tlak (Pa)

g –gravitační konstanta (10N/kg)

$h_v$  – výška vodního sloupce (m)

$$\rho = ((P_{omDIW} * \rho_{DIW}) + (P_{omHF} * \rho_{HF}) + (P_{omHN03} * \rho_{HN03})) / P_{omC}$$

$P_{omDIW}, HF, HN03$  – jednotlivé poměrové zastoupení složek

$\rho_{DIW}, HF, HN03$  – jednotlivé hustoty složek

$P_{omC}$  – součet jednotlivých poměrů ( $P_{omDIW} + P_{omHF} + P_{omHN03}$ )

$$V = ((h_v * 10) * h * \check{s}) - odp V$$

V – objem v litrech

$(h_v * 10)$  – výška vodního sloupce (dcm)

h – hloubka tanku (dcm)

$\check{s}$  – šířka tanku (dcm)

odp V – odpočet objemu úkosu v litrech  $V = ((0,48 * 9,06 * 7,63) / 2)$

### **Výška hladiny pod mezi úkosu**

$$h_v = P / \rho * g$$

$\rho$  – poměrová hustota složek (DIW, HF, HN03 kg/m<sup>3</sup>)

P- naměřený hydrostatický tlak (Pa)

g –gravitační konstanta (10N/kg)

$h_v$  – výška vodního sloupce (m)

$$\rho = ((P_{omDIW} * \rho_{DIW}) + (P_{omHF} * \rho_{HF}) + (P_{omHN03} * \rho_{HN03})) / P_{omC}$$

$P_{omDIW}, HF, HN03$  – jednotlivé poměrové zastoupení složek

$\rho_{DIW}, HF, HN03$  – jednotlivé hustoty složek

PomC – součet jednotlivých poměrů ( $PomDIW + PomHF + PomHN03$ )

$$S = ((hv * 10) * x) / 2$$

S- plocha trojúhelníku (dcm<sup>2</sup>)

x-aktuální šířka vodního sloupce (dcm)

$$x = k * (hv * 10)$$

k- spočtená konstanta 19,081137 (dle uhlu)

$$V = (((hv * 10) * (hv * 10) * k) / 2) * h$$

V – objem v litrech

(hv\*10) – výška vodního sloupce (dcm)

h – hloubka tanku (dcm)

Celkový výpočet, jak je nadefinován v programu, je uveden jako

Příloha 6: Výpočet aktuálního objemu

#### **5.5.4. Výpočet počtu opakování napouštění tanku do nádrže „Main poolu“**

Samotná mycí a leptací nádrž Main pool měla cca 3,5 krát větší objem než tanky určené k sestavení výsledné směsi, proto bylo nutné provést výpočet počtu opakování napouštění daného tanku do nádrže Main pool dle zadané požadované úrovně objemu. Výpočet je proveden způsobem:

- srovnávání komparací dle stanovených hodnot k požadované hodnotě objemu Main pool
- nadefinování počtu opakování
- výpočet zůstatku napouštění (sečtení objemu počtu opakování plných tanků a odpočet zůstatku)

Hodnota nadefinovaná jako srovnávací pro každou úroveň opakování byla volena s ohledem na možný vznik difference při reálném napouštění. Tedy nebyla volena hodnotou maximálního objemu tanku, ale hodnotou lehce níže korigovanou. Tato korekce zajistila, že nedocházelo vlivem drobné chyby k napouštění a k zastavování procesu, s vazbou na přeplněnou nádrž. Toto řešení bylo také akceptováno zákazníkem, protože reálně nepotřeboval napouštět úplně maximální možnou úroveň směsi do velké nádrže Main pool.

### **5.6. Popis jednotlivých bloků řídicího programu**

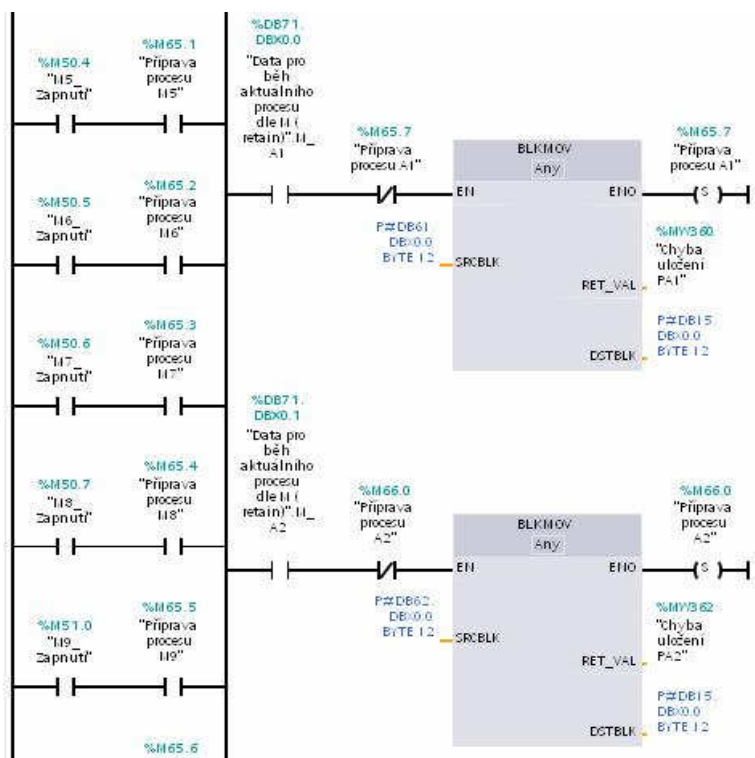
Seznam použitých funkčních bloků a vlastně nadefinovaných funkcí dle hierarchického uspořádání a dle vzájemného způsobu volání, včetně popisu užití, je uveden jako:

Příloha 7: Blokový popis programu

Zde v tomto oddíle bude pro ukázkou pouze uveden způsob použití předdefinované funkce „BLKMOV“ a způsob volání funkčního bloku „Procedura B2“.

### „BLKMOV“

Jak bylo již zmíněno, značná část dat byla uchovávána v DB z důvodu možnosti využití Retain paměti, tedy možnosti uchování dat i při ztrátě napájení. Samotný přenos parametrů z jedné části DB lze provádět i běžnou předdefinovanou funkcí MOV, nicméně toto řešení pro složité aplikace, jako je tato, je značně neefektivní. Dalším důvodem potřeby zefektivnit zápis programu je použití jazyka LD, kterého nevýhodou je značná velikost. Tedy čím menší zápis programu, tím je výsledný program čitelnější, tedy přehlednější. Předdefinovaná funkce „BLKMOV“ slouží k přenosu množiny dat najednou. Použití těchto funkcí nám ve značné míře zpřehlední celý výsledný program. Před samotným použitím této funkce byla potřeba logicky a systematicky uspořádat data do datových bloků tak, aby i použití této funkce bylo implementováno efektivním způsobem. Každému DB byla přiřazena určitá skupina dat tak, aby při běhu procesu, popřípadě při nastavování parametrů, se přeneslo celé DB najednou do jiných DB. Ukázka praktické implementace je na obrázku 23.

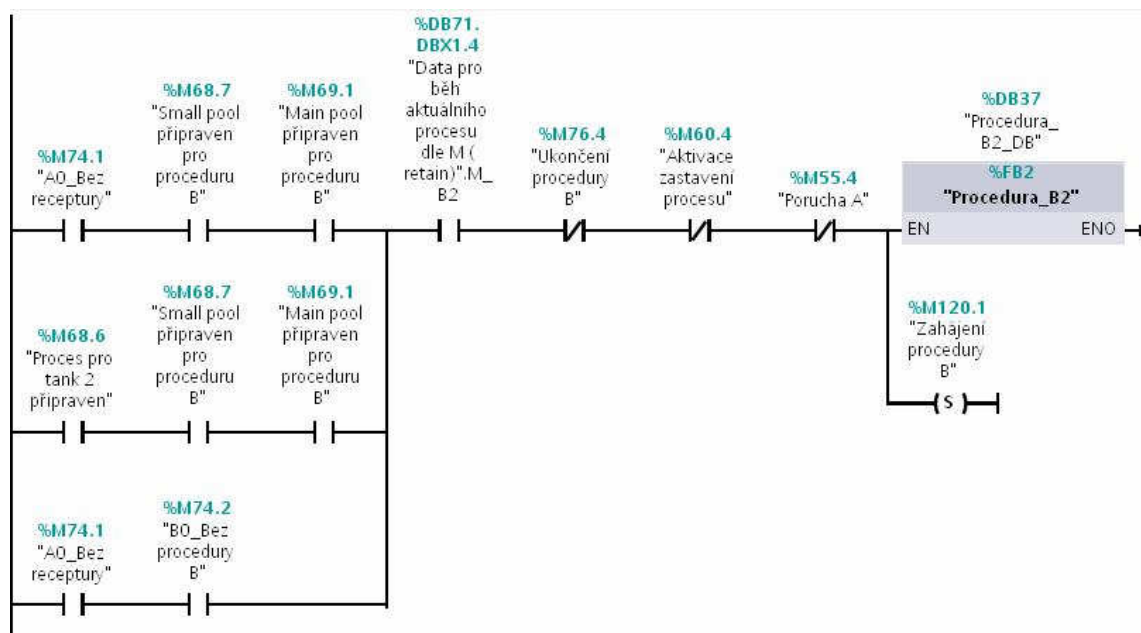


Obrázek 20. Ukázka použití funkce „BLKMOV“ v prostředí TIA V11

### Spouštění procedur

Samotné procedury byly vytvořeny formou bloků, a to z důvodu potřeby přehlednosti celého programu. V základním organizačním bloku OB1 byly umístěny jednotlivé bloky procedur včetně podmínek pro spuštění a běh daných procedur. V samotném bloku dané procedury se nacházel pouze sled činností dané procedury, včetně volání doprovodných funkcí. Tímto způsobem se v hlavním organizačním bloku volaly i jiné funkční bloky, popřípadě nadefinované funkce. Praktické použití je zobrazeno na obrázku číslo 24.





Obrázek 21. Ukázka způsobu volání FB v prostředí TIA V11.

## 5.7. Popis způsobu implementace funkčního modulu FM350-2

Jak bylo již zmíněno v bodě 4.1.3, byl ke čtení aktuálních pulsů průtokoměru vybrán funkční modul FM350-2. Samotný funkční modul má různé způsoby využití. K naší aplikaci bylo třeba využít funkce „Count continuously“. Tato funkce je určena k postupnému kontinuálnímu přičítání pulsů. K aplikaci této funkce bylo také potřebné rozhodnout, jakým způsobem bude využívána, protože zde může být aplikováno HW spínání, popřípadě SW implementace. Výhodou HW spínání jsou rychlejší reakce na podněty, a tedy i rychlejší akční zásah. Nevýhodou je absence ON LINE zobrazení provozních stavů v programu.

Pro naplnění cíle této diplomové práce byla dostatečná rychlost poskytující SW spínání, které bylo tedy v konečném důsledku aplikováno.

### 5.7.1. Komunikace mezi PLC a FM350-2

Komunikace mezi PLC a FM350-2 byla řešena prostřednictvím speciálního datového bloku. Tento datový blok je automaticky vygenerován při HW konfiguraci v prostředí TIA V11.

Na obrázku 25 je znázorněna část tohoto datového bloku. Samotný popis jednotlivých položek je uveden v Helpu, popřípadě v původním dokumentu[13].

	Name	Data_block_3 [DB1]	Data type	Offset	Start value	Retain	Visible in ...	Comment
1	▼ Static							
2	▼ JOB_WR		Struct	0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	write commands
3	NO		Byte	0.0	B#16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	number
4	BUSY		Bool	1.0	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job in working
5	DONE		Bool	1.1	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job is done
6	IMPOSS		Bool	1.2	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job impossible
7	UNKOWN		Bool	1.3	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job unkown
8	▼ JOB_RD		Struct	2.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	read commands
9	NO		Byte	0.0	100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	number
10	BUSY		Bool	1.0	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job in working
11	DONE		Bool	1.1	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job is done
12	IMPOSS		Bool	1.2	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job impossible
13	UNKOWN		Bool	1.3	FALSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	job unkown
14	► RESERV_0		array [1..3] of Word	4.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	RESERV_1		Word	10.0	W#16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	reserved
16	MOD_ADR		Word	12.0	352	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	module address
17	CH_ADR		DWord	14.0	P#352.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	channel address
18	DS_OFFS		Byte	18.0	B#16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	data block offset
19	RESERV_2		Byte	19.0	B#16#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	reserved
20	► CONTROL_SIGNALS		Struct	20.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	control signals
21	► CHECKBACK_SIGNALS		Struct	36.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	checkback signals
22	LOAD_VAL0		DInt	52.0	L#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	load value counter 0
23	LOAD_VAL1		DInt	56.0	L#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	load value counter 1
24	LOAD_VAL2		DInt	60.0	L#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	load value counter 2
25	LOAD_VAL3		DInt	64.0	L#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	load value counter 3
26	LOAD_VAL4		DInt	68.0	L#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	load value counter 4
27	LOAD_VAL5		DInt	72.0	L#0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	load value counter 5

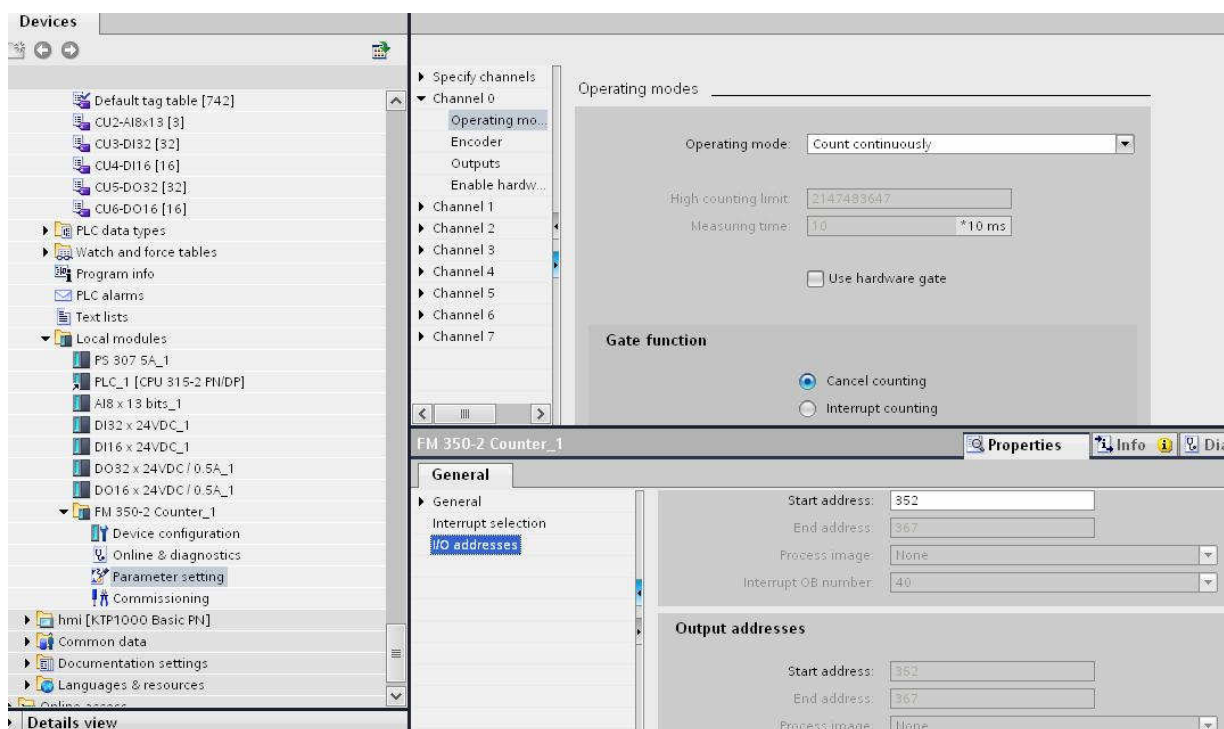
Obrázek 22. Datový blok funkčního modulu FM350-2

### 5.7.2. HW konfigurace FM 350-2 v prostředí TIA V11

Samotné nastavení HW konfigurace probíhalo prostřednictvím kroků:

- nadefinováním karty do specifikace PLC modulů
- vygenerování DB ke vzájemné komunikaci
- nadefinování „Operating mode“
- deklarace vstupů a výstupů
- nadefinování hraničních hodnot
- zákaz HW implementace
- nadefinování adres

Na obrázku 26 je znázorněno prostředí TIA V11, které je určeno k významné části HW nastavení funkčního modulu FM350-2. Toto nastavení se provádí v záložce „Local modules“ – „FM 350-2 Counter\_1“.



Obrázek 23. Způsob nastavení jednotlivých kanálů funkčního modulu FM350-2

### 5.7.3. Základní provozní funkce FM350-2

Základními provozními funkcemi jsou funkce:

- CNT2\_CTR
- CNT2\_RDPN
- CNT2\_WRPN

#### CNT2\_CTR

Tato funkce slouží k aktivaci FM350-2. Bez aplikace této funkce není daný FM v provozu.

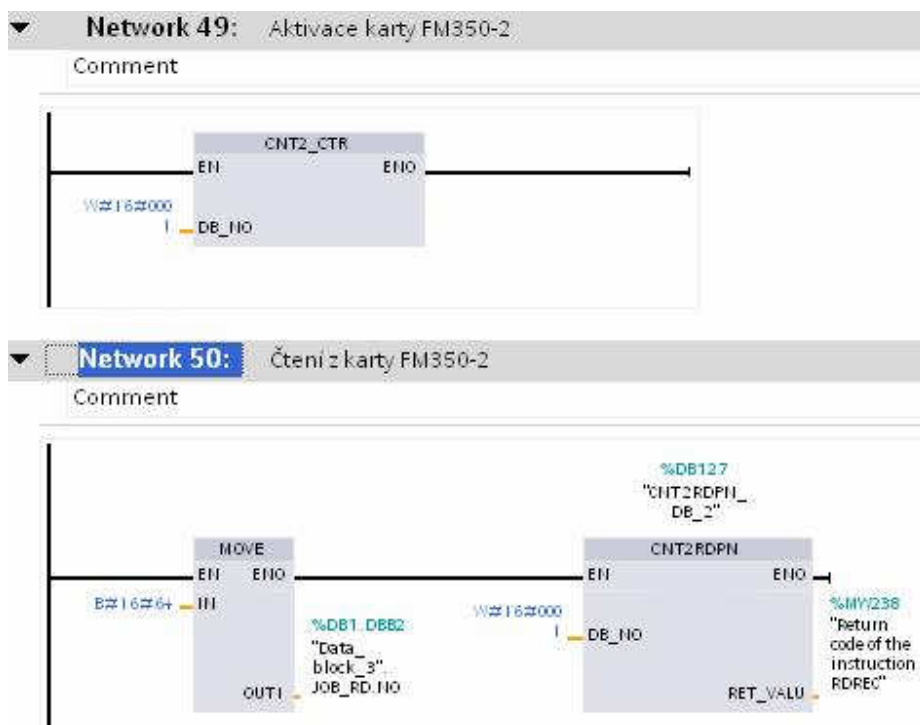
V programu je tento blok umístěn přímo do organizačního bloku OB1, bez použití dalších dodatečných podmínek. Tedy funkční modul FM 350-2 je automaticky aktivován hned po zapnutí stroje a provedení OB100.

#### CNT2\_RDPN

Funkce slouží ke čtení dat ze speciálního vygenerovaného datového bloku tohoto modulu. V případě, že není aktivní tato funkce, není možné přímo v programu číst, ani jiným způsobem využívat hodnoty daného datového bloku.

#### CNT2\_WRPN

Funkce „CNT2\_WRPN“ slouží k zápisu dat do speciálního datového bloku. Tato funkce není v této diplomové práci použita, protože je zde využito SW spínání. Funkce je nutno aplikovat v případě potřeby využití HW spínání.



Obrázek 24. Základní provozní funkce funkčního modulu FM350-2

#### 5.7.4. STS a SW brány FM 350-2

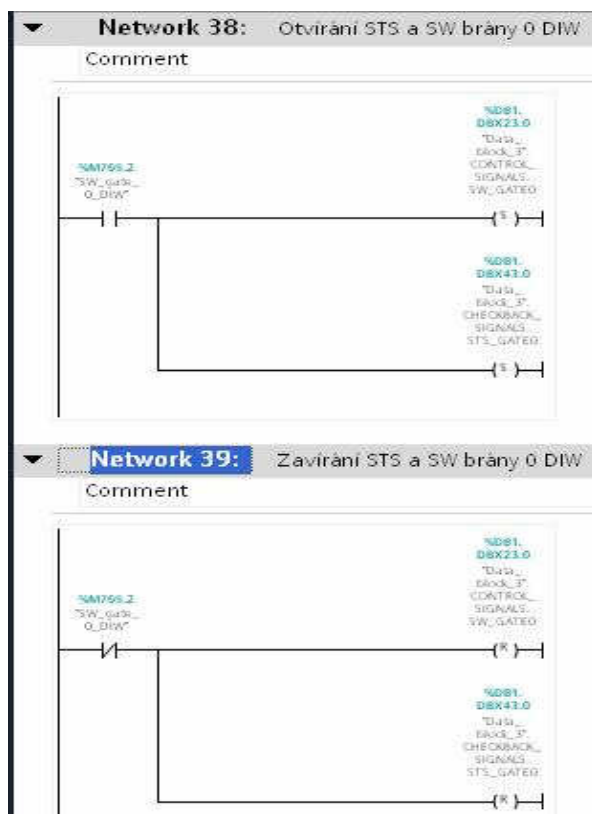
Načtená data spočtených pulsů průtokoměru, uvedená ve speciálním datovém bloku, bylo nutné vždy při ukončení sekvence napouštění potřebné směsi vynulovat. Toho při aplikovaném způsobu použití bylo docíleno prostřednictvím setování a resetování bran STS a SW, které jsou součástí daného datového bloku.

Při testování spolehlivosti zápisu nulování hodnoty pulsů bylo zjištěno, že je prováděno s úspěšností cca 99%. K tomuto poznatku se dospělo při vícenásobném testování, kdy cca jedno ze sta provedených setování a resetování STS a SW bran neprovedlo vynulování hodnoty pulsů. Toto není slučitelné s požadavkem koncového zákazníka, proto bylo nevyhnutelné provést opatření, které by tuto nespolehlivost v plné míře eliminovalo.

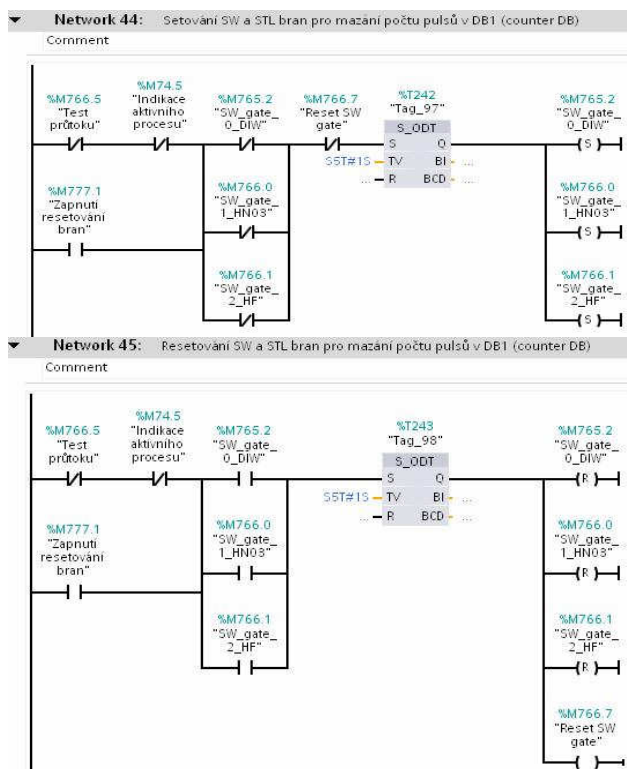
Jako spolehlivé řešení, které odstranilo tento vážný nedostatek, bylo zvoleno vícenásobné provádění setování a resetování bran STS a SW. Samotný program je nadefinován tak, že pokud běží proces, nedochází k setování ani resetování bran, protože je požadována celková hodnota načtených pulsů od zahájení napouštění. V případě, že by se provedlo nulování přímo v procesu, ztratila by se aktuální hodnota celkových pulsů, a tím by došlo při aktivaci senzoru horní úrovně malé nádrže k zastavení procesu a vyhlášení poruchového stavu.

V případě ukončení procesu se automaticky provádí střídavé setování a resetování STS a SW bran, a to v intervalech jedna sekunda. Toto opatření vede k potřebné spolehlivosti nulování hodnoty, která je požadována koncovým zákazníkem.

Způsob aplikace v daném programu je uveden na obrázcích 28 a 29.



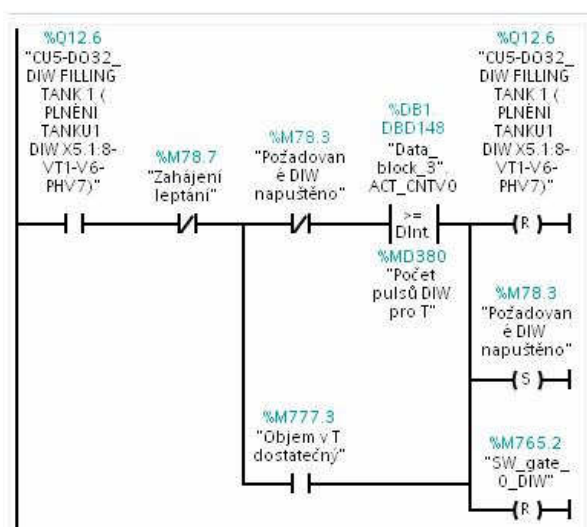
Obrázek 25. STS a SW brány složky DIW FM350-2



Obrázek 26. Setování a resetování bran funkčního modulu FM350-2

### 5.7.5. Čtení požadovaných hodnot z DB FM 350-2

Samotné čtení požadovaných hodnot v naší aplikaci čtení načtených pulsů je dle nadefinovaného způsobu použití jednoduchý. Oproti HW spínacímu režimu můžeme jednoduše číst požadovanou hodnotu přímo z tohoto datového bloku, přímo tuto hodnotu můžeme i vyhodnocovat prostřednictvím běžného komparátoru. Na obrázku 30 je znázorněn způsob aplikace čtení pulsů v tomto diplomovém projektu. Zde je patrné, že je jednoduše vyhodnocována požadovaná vypočtená hodnota k hodnotě načtených pulsů prostřednictvím FM350-2.



Obrázek 27. Načítání pulsů z datového bloku funkčního modulu FM350-2

## 5.8. Popis struktury vizualizace

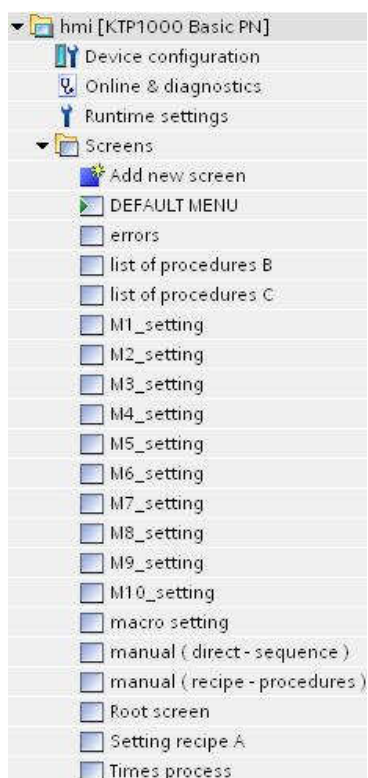
Samotná volba struktury vizualizace plyne ze specifikovaných požadavků koncového zákazníka a zadavatele této diplomové práce. Nejdříve v prostředí Step 7 V11 byly vytvořeny a nadefinovány jednotlivé obrazovky. Tyto obrazovky řeší specifika jednotlivých činností. Například specifika poruch jsou uvedena v obrazovce „errors“. Následně bylo nutné vytvořit strukturu s vazbou na potřebné přístupy k jednotlivým obrazovkám.

Přístupy byly sestaveny dle požadavků koncového zákazníka, který specifikoval dvě úrovně přístupů, a to „Obsluha“ a „Servis“.

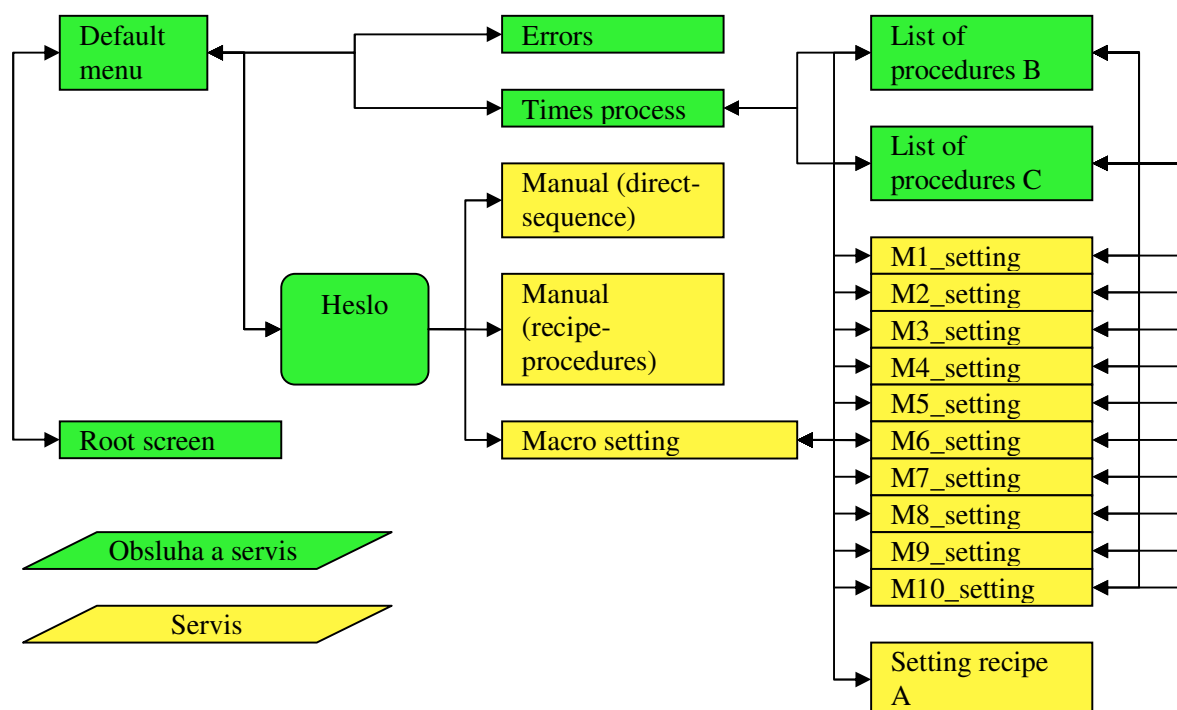
Obsluha má nadefinovaný přístup pouze k několika základním přístupovým obrazovkám, které řeší pouze běh aktuálního procesu.

Servis má přístup ke všem obrazovkám nadefinovaným pro obsluhu a zároveň má přístup ke specifickým obrazovkám určeným k parametrizaci jednotlivých procesů, popřípadě k provádění manuálních činností. K aktivaci těchto specifických obrazovek je potřebné zadat přístupová hesla.

Struktura jednotlivých obrazovek je zobrazena přímo v programovacím prostředí TIA V11 (obrázek 31) a prostřednictvím vývojového diagramu (obrázek 32).



Obrázek 28. Seznam obrazovek HMI v prostředí TIA V11



Obrázek 29. Struktura vazeb mezi jednotlivými obrazovkami HMI



## **5.9. Popis vizualizace programu**

Samotný popis vizualizace je řešen prostřednictvím průvodní dokumentace pro koncového zákazníka jako příloha k návodu k obsluze. V této 25 stránkové příloze jsou zobrazeny jednotlivé obrazovky, včetně podrobné specifikace.

Ve specifikaci je uvedeno:

- definice jednotlivých symbolů a hodnot
- způsob zadávání hodnot
- pomůcky k jednotlivým procesním činnostem
- upozornění na důležité průvodní informace

Vizualizace jednotlivých procesů byla tvořena reálným grafickým zobrazením jednotlivých kroků tak, jak bylo požadováno zadavatelem této diplomové práce. Popis konkrétních obrazovek nebude součástí této diplomové práce, protože by značným způsobem převýšila požadovaný rozsah.



## **6. Řešení vzdálené správy daného strojního zařízení**

Řešení vychází z požadavků zadavatele, které je jasně specifikováno bez možností dodatečných změn.

Výběr prostředků ke vzdálené správě je vymezen pouze pro alternativní možnosti k nabízeným řešením Siemens (například teleservis).

### **6.1. Seznam dostupných řešení**

V návaznosti na omezení použití prostředků Siemens, které bylo zadáno zadavatelem, byly doporučeny dvě možnosti alternativního řešení:

- Modem EWon,
- Modem MoRoS

Pro řešení vzdálené správy existují i jiné možnosti, kterými se nebudu zabývat, protože výsledek řešení je vázán na přesně stanovený termín zadavatele, a tedy zanalyzovat více možných řešení ve stanoveném čase není možné.

### **6.2. Řešení EWon**

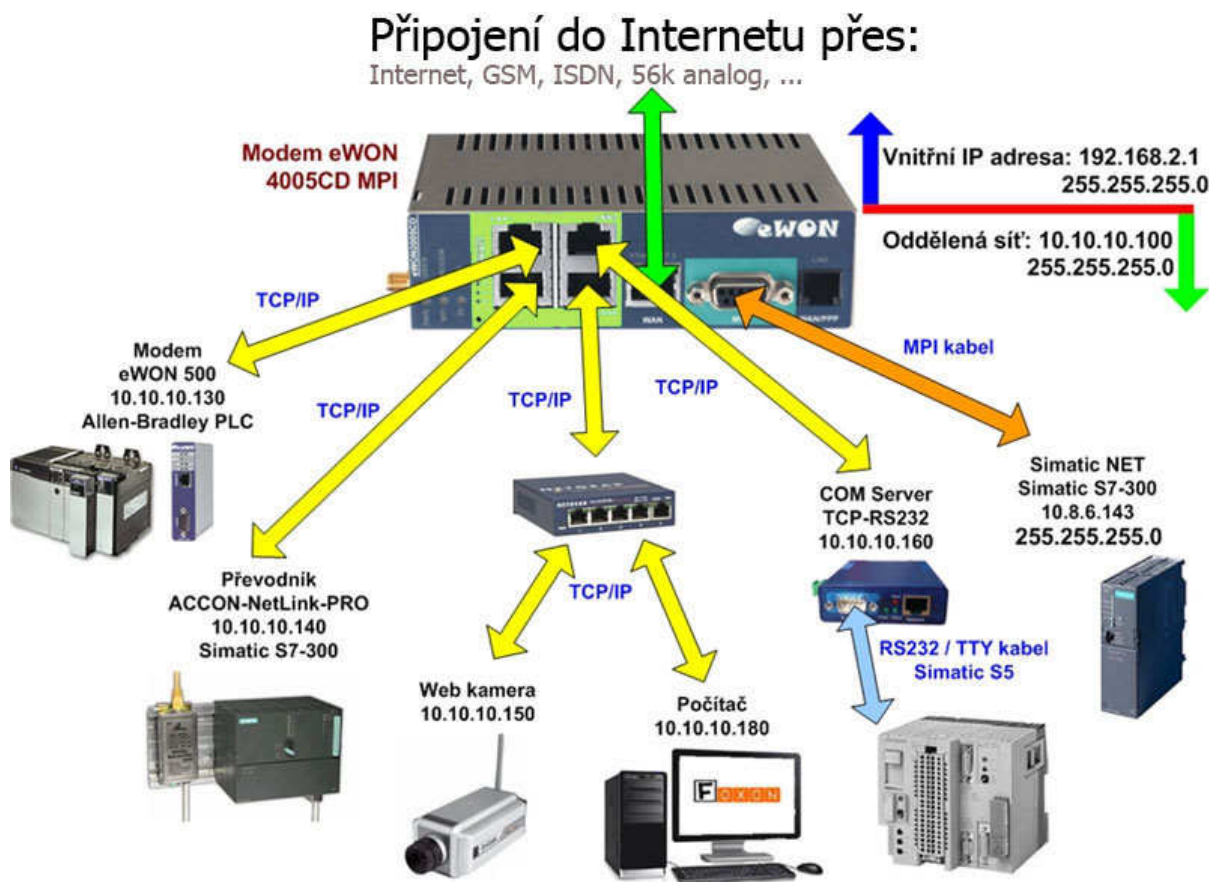
#### **6.2.1. Dělení modemů EWon**

Samotné modemy EWon lze rozčlenit podle tří hledisek, a to:

- Podle typové řady
  - Řada 500 + 2xxx
    - vzdálený přístup na sériový port + TCP/IP porty
    - alarm systém pro max. 350 IO adres
  - Řada 4xxx
    - stejné vlastnosti jako řada 2xxx
    - navíc archivace dat PLC do paměti modemu (350 IO)
    - vizualizace dat PLC (350 IO)
- Podle typu sériového portu
  - MPI/PROFIBUS/PPI Multimaster - určeno pro PLC Simatic S7
  - RS232/485/422 (S7-200, S5, Mitsubishi, Allen-Bradley, Omron, Hitachi, Modbus...)
- Podle typu vestavěného modemu
  - ISDN
  - Analog 56k
  - ADSL
  - GSM GPRS/EDGE
  - UMTS 3G

### 6.2.2. Schopnost připojení PLC na sériový port modemu EWon

- Modem se portem MPI / PROFIBUS /PPI Multimaster
  - SIEMENS SIMATIC S7-200 (PPI multimaster) & S7- 300 & S7-400 (přes MPI/PROFIBUS kabel)
- Modem se sériovým portem RS232, RS422, RS485
  - SIEMENS SIMATIC
    - S7-200 PPI monomaster
    - S5
  - ROCKWELL
    - Allen-Bradley SLC500 série
    - Allen-Bradley ControlLogix série
  - MITSUBISHI
    - série FX0, FX1, FX2, FX3U
  - MODBUS
  - SCHNEIDER
  - OMRON
  - HITACHI



Obrázek 30. Způsoby připojení modemu EWon [17]

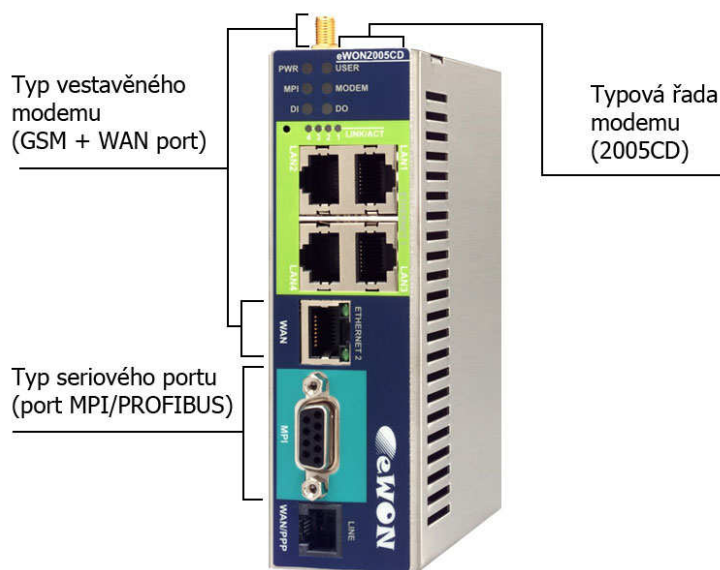
### 6.2.3. Výběr modemu EWon

V tomto projektu je použito PLC Siemens Simatic S7-300 (CPU 315 2PN/DP) s volným MPI portem, u něhož není cílem archivovat data do paměti modemu, ale vzdáleně je potřeba připojení přes GSM EDGE pomocí Talk2M a přes Internet pomocí vnitřní sítě.

Seznam kroků volby modemu:

- Volný MPI port = komunikace po MPI = vybrán modem s portem MPI/PROFIBUS
- Bez archivace = zvolena řada 2xxx
- Vzdálená správa přes GSM EDGE = zvolen modem s vestavěným modemem GSM EDGE
- Vzdálené připojení přes Talk2M = zvolen modem s podporou Talk2M

Výsledný modem je tedy modem 2 s MPI portem a modemem GSM EDGE. Označení modemu je EW2626B – 2005CD.



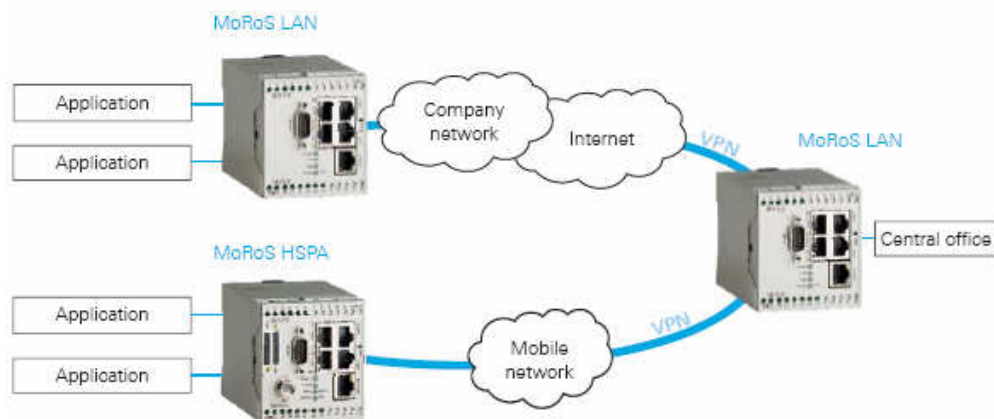
Obrázek 31. Alternativa modemu EWon k posouzení [17]

## 6.3.Řešení MoRoS

### 6.3.1. Základní informace

Zařízení MoRoS LAN PRO se stará o bezpečné spojení přes veřejné sítě. Spojení může být sestaveno či přijímáno v závislosti na to, zda je využíván v terénu, či v řídicím centru.

Řídicí sítě jsou uvolňovány z firemních sítí a jsou připojeny pouze kontrolovanou VPNkou (OpenVPN, IPsec). Pokud je spojení využíváno pro bezhotovostní platební služby, může být užívání kontrolováno přepínačem klíče přímo na místě. Jako hlavní zařízení plánuje MoRoS LAN PRO spojení ostatních přístrojů v terénu a spojuje je navzájem s centrální stanicí. Servisní pracovník tak získá bezpečný přístup z veřejného Internetu. Zařízení MoRoS LAN PRO řídí pomocí PPPoE modem INSYS ADSL k rychlému přístupu k Internetu.



Obrázek 32. Komunikace modemů Moros (server a klient)[18]

### 6.3.2. Technické parametry

Technické parametry jsou dostupné na stránce prodejce [18].

### 6.3.3. Moros VPN spojení a komunikace

Zařízení Moros tvoří soustava dvou zařízení, kdy jedno slouží jako klient (umístění u stroje) a druhé jako server (umístěno u uživatele), která zajišťují bezpečné spojení přes VPN.

Přístup k webovému rozhraní je chráněn uživatelským jménem a heslem.

Přicházející data ze sítě se přenášejí v sériovém rozhraní dle IP. Také odcházející data jsou poslána dle IP adresy na vzdálený terminál. Přenos je proveden komunikačním protokolem Ethernet, který je zajištěn pomocí technologie INSYS VCOM.

#### DHCP server

Ethernetové zařízení Moros připojené přes automatický vypínač může znovu automaticky získat IP adresu z MoRoS LAN 2.1 dle parametrů nastavení.

#### DHCP klient

Zařízení MoRoS LAN 2.1 pro získá automaticky ze sítě IP adresu dle zadání vstupního nastavení.

Pro server i pro klienta lze nastavit také statickou IP adresu.

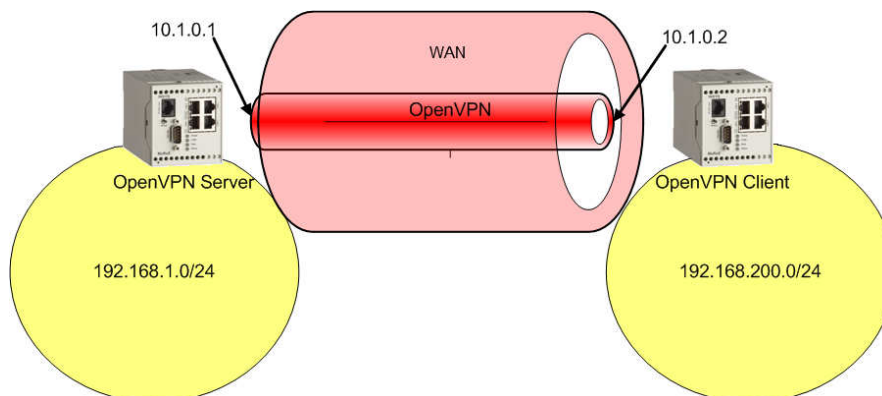
## OpenVPN

MoRoS LAN 2.1 pro může být užíván jako OpenVPN server nebo klient. Toto zařízení je schopné vytvořit bezpečné spojení přes veřejnou síť. Nezbytným předpokladem je umožnění přístupu zařízení přes veřejnou IP adresu nebo skrz VPN tunel k další síti (například firemní síti). Bezpečná inicializace spojování přes OpenVPN server je zajištěna přes vygenerovaný klíč a certifikát s uživatelským jménem a heslem. MoRoS LAN 2.1 pro může také vytvořit spojení přes OpenVPN bez inicializace.

MoRoS LAN 2.1 je také schopen posílat e-maily k zadanému příjemci podle různých nadefinovaných událostí.

Při konfiguraci PC a zařízení Moros nesmí být pozapomenuto na to, že první tři části IP adresy z PC a MoRoS LAN 2.1 musí být identické. Například MoRoS LAN 2.1 pro má IP adresu 192.168.1.1. a PC má IP adresu 192.168.1.2.

Standardní nastavení IP adresy MoRoS LAN 2.1 pro je 192.168.1.1.

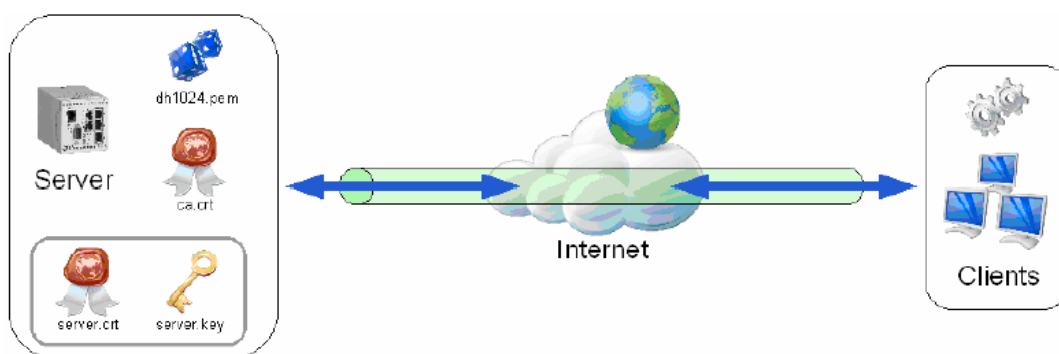


Obrázek 33. *Technické parametry modemu Moros[18]*

### **6.3.4. OpenVPN Server – konfigurace**

Konfigurace zde: Open in the menu → Dial-In / Dial-Out / LAN (ext) the page → OpenVPN server

- Vložení vygenerovaného certifikátu
- Vložení vygenerovaného serverového certifikátu
- Zadáání serverového klíče
- Ověření "Aktivace OpenVPN serveru"
- Ověření "Autorizace certifikátu"
- Nastavení "IP adresy klienta"
- "Vytvoření síťové cesty pro klienta"
- Uložení nastavení

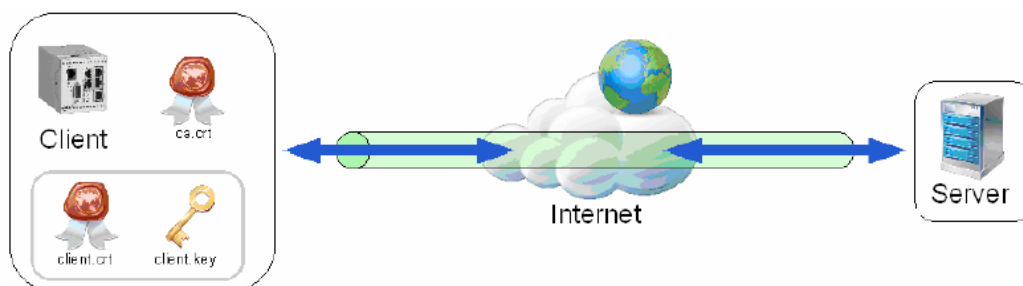


Obrázek 34. Způsob konfigurace serveru Moros[18]

### 6.3.5. OpenVPN Client –konfigurace

Konfigurace zde: Open in the menu →Dial-In / Dial-Out / LAN (ext) the page →OpenVPN client

- Vložení vygenerovaného certifikátu
- Vložení vygenerovaného certifikátu klienta
- Zadání klíče klienta
- Ověření "Aktivace OpenVPN serveru"
- Nastavení "IP adresy serveru"
- Kontrola "Authentication based on certificate"
- Kontrola "Check remote certificate type" if required
- Uložení nastavení



Obrázek 35. Způsob konfigurace Klienta Moros[18]

## 6.4. Výběr řešení ke vzdálené správě

Modem eWon byl zapůjčen od firmy Foxon, včetně všech potřebných podkladů. V praktických zkouškách se projevila neschopnost importu potřebného hardwarového nastavení do programu TIA V11, ve kterém je řídicí program tvořen. Byl také vyzkoušen import konfiguračního souboru cfg do verze step 7. Do tohoto programu import proběhl úspěšně bez sebemenších problémů. Nicméně při snaze provést migraci projektu z Step7 do TIA V11 neustále docházelo k chybě migrace, tedy nebylo možné úspěšně použít toto zařízení k potřebám připravovaného projektu.

V návaznosti na zjištěné skutečnosti bylo k danému projektu vybráno řešení MOROS, které spolehlivě obstálo při praktických testech.

## **7. Dokumentace k prohlášení shody**

### **7.1. Popis způsobu tvorby dokumentace k prohlášení shody**

Dokumentace byla tvořena s vazbou na pevné zvyklosti firmy. Převážnou část obsahu daných dokumentů tvořilo srovnání reálných výstupů strojního zařízení k jednotlivým dílčím bodům uvedených v technických normách a nařízeních vlády.

### **7.2. Seznam dokumentů k prohlášení shody**

Upřesnění:

XXX- Číslo projektu (zde neuvedeno)

YYYYY- Sériové číslo stroje (zde neuvedeno)

Seznam dokumentace k prohlášení shody:

- XXX\_PS\_ YYYYYY: ES prohlášení o shodě (1 strana)
- XXX\_BRM\_ YYYYYY: Analýza rizik (19 stran)
- XXX\_E\_OS\_ YYYYYY\_CSNEN60204\_1: Posouzení strojního zařízení s požadavky ČSN EN 60204-1 (17 stran)
- XXX\_E\_OS\_ YYYYYY\_CSNENISO12100\_2: Posouzení strojního zařízení s požadavky ČSN EN ISO 12100-2 (8 stran)
- XXX\_E\_OS\_ YYYYYY\_NV17: Posouzení strojního zařízení k nařízení vlády č.17/2003 Sb. (3 strany)
- XXX\_E\_OS\_ YYYYYY\_NV176: Posouzení strojního zařízení k nařízení vlády č.176/2008 Sb. (9 stran)
- XXX\_E\_OS\_ YYYYYY\_NV616: Posouzení strojního zařízení k nařízení vlády č.616/2006 Sb. (2 strany)
- XXX\_MP\_1\_ YYYYYY: Protokol o ověření dosaženého krytí zařízení (2 strany)
- XXX\_TZE\_ YYYYYY: Technická správa (6 stran)
- XXX-E-TZ-P2-1-NV174: Seznam základních požadavků na ochranu zdraví a bezpečnost při konstrukci a výrobě strojních zařízení a bezpečnostních součástí (6 stran)
- XXX-E-TZ-P2-2-NV17: Seznam základních požadavků na bezpečnost elektrických zařízení (2 strany)
- XXX-E-TZ-P2-3-NV616: Seznam hlavních požadavků na přístroje z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility (2 strany)
- XXX-E-TZ-P3-CSN: Seznam norem a ostatních technických specifikací, které byly použity při konstrukci strojního zařízení (2 strany)
- XXX\_MA\_ YYYYYY: Návod k obsluze (23 stran)
- XXX\_HMI-PLC\_ YYYYYY: Příloha návodu k obsluze pro HMI (26 stran)
- XXX\_UP\_ YYYYYY: Návod na aktualizaci programu do PLC a HMI (3 strany)
- Zpráva o zkoušce (revize): zpracováno externím dodavatelem

Celkem bylo tedy k prohlášení shody pro zadavatele této diplomové práce zpracováno **131** stran textů, a to o velikosti papíru formátu A4.

## **8. Ověření funkčnosti strojního zařízení**

### **8.1. První oživení strojního zařízení**

První oživení strojního zařízení popisuje způsob prvního připojení zařízení k sítím. Z důvodů vymezení této diplomové práce bude zde pouze popis připojení k elektrické síti, a to pouze formou seznamu jednotlivých kroků:

- prověření možného přímého zkratu
- vytažení všech pojistek z pouzder
- uvedení všech spínacích prvků do polohy nula (vypnuto)
- vymezení pracoviště ochranným identifikačním řetízkem s výstražnou tabulkou
- připojení vodičů na vstupní sběrnici
- měření napětí (celkové i mezi jednotlivými fázemi)
- zapnutí hlavního vypínače
- měření napětí (celkové i mezi jednotlivými fázemi)
- zapnutí spínacích prvků řídicích a bezpečnostních okruhů
- měření napětí řídicích a bezpečnostních okruhů
- nahrání řídicích programů do PLC a HMI
- parametrizace frekvenčního měniče
- inicializace bezpečnostních relé
- měření napětí za oddělovacími stykači
- kontrola funkce řídicích obvodů
- kontrola funkce senzorů s vazbou na bezpečnost
- postupná aktivace spínačů silových obvodů
- měření napětí na silových obvodech

### **8.2. Testování bezpečnostních okruhů**

Jedna z nejdůležitějších činností při ověřování požadovaných funkcí daného strojního zařízení je prověření bezpečnostních okruhů, tedy základních technických bezpečnostních opatření.

Jedním z hlavních pilířů bezpečnosti strojního zařízení je obvod tlačítka nouzového zastavení „Central stop“. Tento obvod je za pomoci dvoukanálového zapojení vodičů (funkčně) svázán s bezpečnostním přídržným relé F117. Aplikace dvoukanálového zapojení u těchto typů bezpečnostních relé je kompromisem mezi pořizovací cenou při zachování potřebné míry bezpečnosti. Ověření funkce probíhalo formou vícenásobné aktivace tlačítka pro nouzové zastavení, při kterém byly prověřovány požadované stavy jednotlivých komponentů bezpečnostních okruhů, tedy prověření rozpojení bezpečnostního přídržného relé a hlavních bezpečnostních oddělovacích stykačů pro silové obvody. Požadovaný výsledek 100% úspěšnosti byl splněn.

Dalším důležitým bezpečnostním prvkem u daného zařízení je hlídání otevírání čelního krytu. Jedná se o kryt oddělující obsluhu od nebezpečného pracovního prostoru. Tento kryt je také svázán



s bezpečnostním přídržným relé s přímou vazbou na indikaci provozního stavu z řídicího PLC. Otevírání ochranného čelního krytu je možné pouze elektricky za použití patřičných tlačítek a to je ještě podmíněno bezporuchovým stavem a neaktivním procesem. Ověření tohoto obvodu proběhlo opětovně vícenásobně při simulaci požadovaných stavů. Požadovaný výsledek 100% úspěšnosti byl splněn.

Další obvody bezpečnostních okruhů byly prověřeny podobným způsobem, jako tomu bylo u obvodů tlačítka nouzového zastavení a obvodu čelního ochranného krytu, s rozdílem specifik daných obvodů.

### 8.3. Testování a nastavování senzorů

#### 8.3.1. Testování spolehlivosti turbínových průtokoměrů

Pro otestování funkčnosti a spolehlivosti byl využit PLC značky Unitronics a také PLC Siemens pro dané strojní zařízení, ve kterých byla vytvořená jednoduchá programová aplikace pro čtení a vyhodnocování pulsů. Na základě informací z produktového listu byl vyčten parametr „*K factor (water) in pulse/Litre*“ [14], který nám dává informaci, že 1 litr protečené vody přes průtokoměr odpovídá odezvě 2000 pulsů. Před samotným zahájením hlavního testování bylo provedeno kontrolní měření napětí za použití předřazeného oddělovače viz video soubor, který je uveden jako příloha pod názvem:

Příloha 8: Video- příprava na hlavní testování průtokoměru

#### Popis průběhu testování:

- a) příprava nádrže a zapojení testovacích přípravků;
- b) napuštění kapaliny do horní úrovně nádrže přes průtokoměr;
- c) vyznačení úrovně hladiny kapaliny fixem;
- d) odečtení počtu pulsů z PLC Unitronics;
- e) vypuštění kapaliny;
- f) napuštění stejného množství po vyznačenou úroveň;
- g) odečtení počtu pulsů z PLC Unitronics;
- h) vypuštění kapaliny;
- i) 10 opakování kroků f),g),h);
- j) 10 opakování kroků f),g),h) za použití PLC Siemens.

#### Vyhodnocení výsledků testů:

- Při měření vznikaly chyby v počtech pulsů v rozsahu do 0,5%, které byly pravděpodobně způsobeny nepřesným napouštěním do vyznačené úrovně. Nicméně požadavky koncového zákazníka i s přičtením této možné chyby byly splněny, tedy není nutné dále prozkoumávat přesný důvod nepřesnosti měření.

- Měřením bylo potvrzeno, že rychlost (tlak) napouštění při použití běžných digitálních vstupů odpovídala pouze cca 30% požadované úrovni koncovým zákazníkem. Měření tedy potvrdilo nutnost použití rychle čtecích vstupů.



Obrázek 36. Testování spolehlivosti měření pomocí průtokoměru

### 8.3.2. Testování senzorů hydrostatického tlaku

Senzory hydrostatického tlaku byly vybrány s ohledem na možný rozsah tlaku v nádrži tak, aby byly co možná nejefektivněji rozsahově využity. Součástí senzorů byl i SW, který sloužil ke konfiguraci daných senzorů. Tento SW byl také využit k provedení testování.

#### Průběh testování:

- Příprava průhledné nádrže se stupnicí v mili litrech (ml).
- Nainstalování SW „S Config 3.22“
- Konfigurace senzoru
- Postupné zvyšování úrovně kapaliny (vody)
- Zápis naměřených hodnot
- Vyhodnocení naměřených hodnot
- Testování ve strojním zařízení

#### Vyhodnocení výsledků testování:

- Při testování za pomoci průhledné nádrže senzor vyhověl požadavkům koncového zákazníka pro dané užití, tedy byl použit pro další testovací fázi jako součást daného strojního zařízení.
- Při testování v reálných podmínkách provozu bylo zjištěno, že je nutné optimálně nastavit přítok tlaku pomocného vzduchu do nádrže a také provést SW opatření pro stabilizaci naměřených hodnot.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny formou xls tabulky pod názvem:

Příloha 9: Testování senzoru tlaku

### **8.3.3. Testování kapacitních keramických senzorů**

Testování kapacitních keramických senzorů probíhalo již ve fázi integrování do daného strojního zařízení. Samotné testování probíhalo pouze formou přivedení kapaliny k těmto senzorům a vyhodnocení požadované reakce k tomuto stavu. Sensory reagovaly v souladu s kladenými požadavky pro předpokládané užití, tedy pro danou aplikaci vyhověly.

### **8.3.4. Testování plovákových senzorů**

Princip plovákových senzorů je značně jednoduchý. Přivedením kapaliny k plováku dojde k nadzvednutí ramena a sepnutí signálu, který je následně přiveden do PLC k vyhodnocení.

Testování s vazbou na jednoduchost funkce a výstupů těchto senzorů probíhalo dvěma způsoby:

- Testování při simulaci úrovně kapaliny při manuální úmyslné změně polohy plováků daných senzorů, včetně vyhodnocení potřebné reakce (indikace) PLC.
- Testování při použití reálné úrovně množství kapalin v nádrži, která způsobila změnu polohy plováků daných senzorů, včetně vyhodnocení potřebné reakce (indikace) PLC a reálného fyzického umístění senzorů.

#### Vyhodnocení výsledků testování:

- Testováním byla prověřena a prokázána vhodnost senzorů pro dané užití.
- Výsledek testování nám sloužil také k upřesnění maximálních uvedených objemů jednotlivých nádrží.

### **8.3.5. Ověření ostatních senzorů**

I u všech ostatních senzorů proběhlo testování, tedy ověřování daných senzorů pro strojní zařízení. Způsob testování senzorů byl volen s ohledem na typ senzoru a požadavky k užití pro dané strojní zařízení.

## 8.4.Ověřování funkčnosti HMI

Ověřování požadovaných vlastností HMI bylo rozděleno do dvou funkčních celků, a to ověřování mechanických tlačítek včetně signalizace provozních stavů a ověřování požadovaných vlastností dotykového panelu.

### Mechanická tlačítka a signalizace:

Mechanická tlačítka byla ověřována způsobem simulace provozních stavů s vyhodnocováním požadované reakce na podněty daných tlačítek. Nejdůležitějším prvkem pro vyhodnocení bylo tlačítko pro nouzové zastavení, protože je jedním ze základních prvků bezpečnosti daného strojního zařízení, a tedy jeho bezchybný spolehlivý provoz je bezpodmínečný.

### Dotykový panel:

Testování dotykového panelu probíhalo ve dvou úrovních, a to při samotném zahájení tvorby SW řízení a při samotném testování výsledného produktu. Při testech byly ověřovány přechody do patřičných obrazovek, zobrazení požadovaných ukazatelů a požadovaná reakce virtuálně vytvořených tlačítek.



Obrázek 37. Testování HMI

## 8.5. Testování parametrizace programu

Kromě testování jednotlivých programových cyklů a provozních stavů bylo nezbytné také prověřit spolehlivost a přesnost zadaných parametrů pro program. Tedy prověřit zadané parametry uživatelem. Toto bylo prověřováno u zadavatele diplomové práce při použití vody, ale také u samotného koncového zákazníka při použití reálných směsí. Způsob testování byl volen s ohledem na funkci testovaných parametrů.

### Popis způsobu testování:

- Volba prověřovaného parametru
- Nastavení ověřovací hodnoty
- Simulace požadovaných stavů
- Volba a příprava vhodných ověřovacích měřidel a přípravků
- Ověření výsledků

### Vyhodnocení výsledků testování:

- Testování vedlo k drobným korekcím v SW PLC a HMI a drobným konečným technickým úpravám samotného strojního zařízení.
- Při testování s použitím reálné směsi byl kladen značný důraz na bezpečnost, a proto také byl před každým testováním zvolen předem oponovaný postup.



Obrázek 38. Testování spolehlivosti nastavených parametrů

## 8.6. Testování běhu požadovaných procedur a receptur

Z důvodu značné rozlišnosti jednotlivých procedur a receptur bylo třeba otestovat všechny požadované procedury v kombinaci různých poměrů směsí zadaných formou receptury tak, aby se předešlo možným chybám při běžném provozu. Samotné testování jednotlivých procedur a receptur probíhalo ve čtyřech etapách:

- standardní test provedení požadované procedury při použití nadefinované receptury ( u zadavatele )
- testování při extrémních nasimulovaných situacích ( u zadavatele )
- testování při vícenásobném opakování spuštění požadované procedury ( u zadavatele)
- provedení finálního testu ve spoluúčasti koncového zákazníka (v místě trvalého provozu)

Záznamy části testování funkčních stavů jsou v diplomové práci uvedeny formou obrázků a videí, a to formou příloh pod názvy:

Příloha 10: Foto

Příloha 11: Video- Testování stroje 1

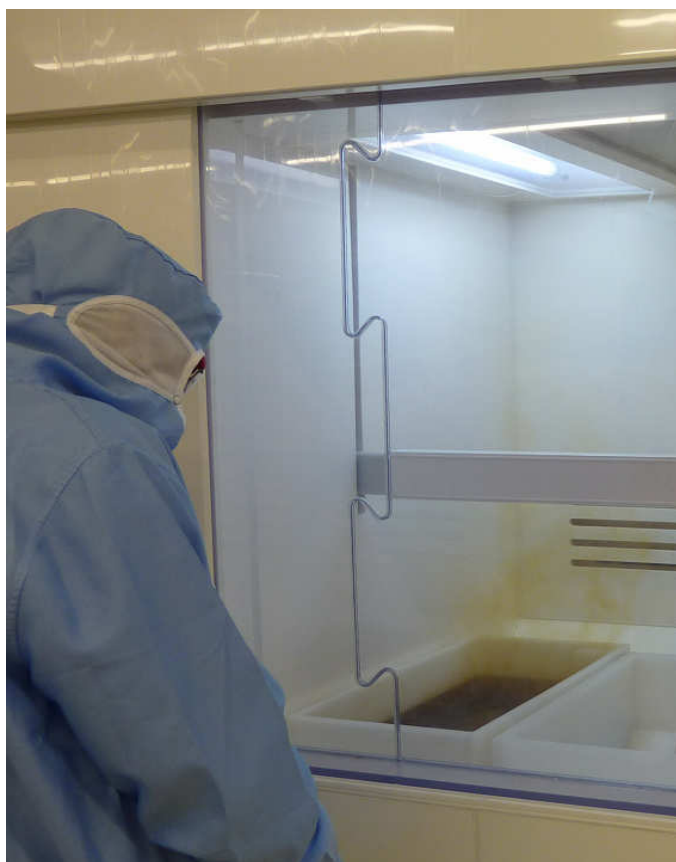
Příloha 12: Video- Processes for Injecting

Příloha 13: Video- Processes for Small pool

Příloha 14: Video- Testování stroje 2



Obrázek 39. Testování procedury BXX



Obrázek 40. Testování procedury BXX\_2



## 8.7. Testování vzdálené správy řešení Moros

Vzdálená správa byla navržena na připojení strojního zařízení, respektive připojení klienta Insys k běžné volné síti. Testování vzdálené správy probíhalo ve dvou fázích, a to při použití přímo v České republice a při finálním spojení se strojním zařízením umístěným přímo ve Švýcarsku.

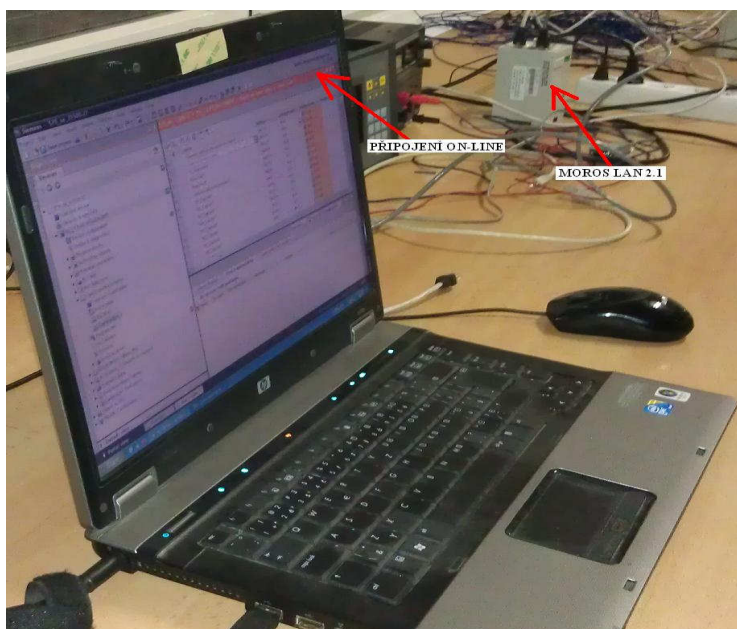
Standardně koncový zákazník pracuje se speciálně chráněnou a omezenou sítí s centrálním uložištěm umístěným v jiném státě, které prostřednictvím vlastního VPN sdílí potřebná data. Koncový zákazník umožňuje připojit naše zařízení, a to pouze ve značně omezeném režimu.

Pro samotné reálné připojení a provedení potřebného monitoringu bylo nutné provést tyto kroky:

- Informace a zdůvodnění požadavku k připojení
- Definování časového požadavku na připojení
- Obdržení písemného souhlasu s informací, do kdy bude zařízení připojeno na síť
- Připojení zařízení ke sledování ON LINE parametrů
- Informace o ukončení práci (monitoringu)
- Odpojení zařízení od sítě

### 8.7.1. Moros server

Samotný server od firmy Moros byl při testech umístěn na pracovním stole ve firmě zadavatele a připojen k počítači s nainstalovaným prostředím TIA V11, se spuštěným aktuálním programem.

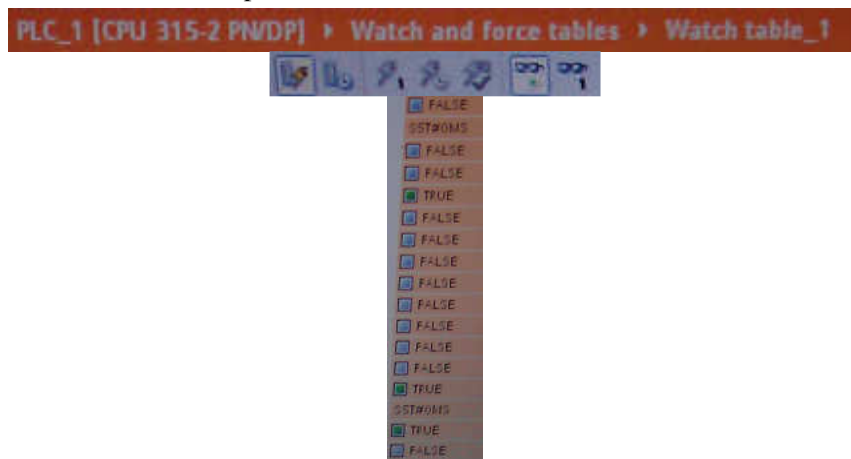


Obrázek 41. Umístění Moros serveru při testování vzdálené správy



### 8.7.2. On line režim přes vzdálenou správu

Režim spojení byl ověřen praktickým sledováním parametrů prostřednictvím „Watch tabulky“, která byla pro tento účel předchystána. Samotné spojení bylo možné identifikovat za pomoci znázorněných zelených kuliček, které se nacházely vlevo na navigační liště. Také při připojení a označení ikony s brýlemi ve „Watch tabulce“ byla patrná identifikace právě aktivních proměnných, jejichž aktuální stav se zobrazoval prostřednictvím indexů „TRUE“ a nebo „FALSE“.



Obrázek 42. Zobrazení on line parametrů při testování vzdálené správy

### 8.7.3. Umístění Moros klientu

Zařízení klient od firmy Moros bylo trvale umístěno přímo v rozvodnici MN daného strojního zařízení a připojeno k síti. Toto připojení k síti je fyzicky trvalé, ale funkčně značně omezené- viz popis u bodu 8.7.



Obrázek 43. Umístění Moros klienta ve strojním zařízení

## **9. Závěr – zhodnocení výsledků**

Úkolem diplomové práce bylo vytvořit návrh a realizaci strojního zařízení k čištění a mytí křemíkových dílů po výrobní operaci řezání. Součástí interního zadání zadavatelem a řešení byly také další úkoly a standardní firemní výstupy, které jsem ale do této práce nezařazoval, protože nekorespondovaly se zadáním samotné diplomové práce a jsou interními dokumenty (technická dokumentace, pracovní instrukce, dokumentace k prohlášení shody, atd.).

V teoretickém rozboru jsem se zabýval popisem výrobní operace čištění a mytí křemíkových dílů, popsal jsem základní vlastnosti požadovaných složek směsi určené k leptání, prezentoval jsem souhrn důležitých cílů koncového zákazníka a zadavatele a samotnou problematikou bezpečnosti s vazbou na aktuálně platnou legislativu ke strojním zařízením.

V dalších částech této práce byla zpracována koncepce strojního zařízení a návrh koncepce řídicího systému. Návrh a popis realizace HW řídicího systému. Návrh a popis realizace SW, algoritmizace řídicích úloh a implementace řídicího programu. Samotně řešenou částí této diplomové práce bylo pojednání o řešení vzdálené správy daného strojního zařízení a základní informace o dokumentaci k prohlášení shody. Důležitá samotná část pro ověření funkčnosti strojního zařízení vycházela z dlouholetých zkušeností zadavatele, a může být inspirací pro studenty bez praktických zkušeností, kterým poradí, jak postupovat správně a bezpečně při reálné praxi k ověřování funkčních vlastností testovaných strojních zařízení.

Samotné strojní zařízení je funkčně rozděleno na přední pracovní část, ke které má přístup obsluha a je umístěna v čistých prostorech a zadní část stroje, která je umístěna v šedých prostorech a kde mají přístup pouze servisní technici. Tyto dvě části jsou fyzicky rozděleny stěnou, kterou tvoří také samotné strojní zařízení.

Závěrem lze zhodnotit, že výsledky diplomové práce korespondují se stanovenými cíli jak zadavatele, tak i koncového zákazníka.

V této diplomové práci jsem významnou měrou uplatnil znalosti, které jsem nabyl při studiu na VŠB.

Pro další rozvoj se silným potenciálem pro studenty k rychlejší aklimatizaci do běžných praktických procesů při tvorbě programů PLC v jazyku LD doporučuji zpracovat specifickou praktickou metodiku tvorby programu v tomto jazyce. Je velký předpoklad, že by toto ve značné míře přineslo zkrácení adaptačního procesu studentů pro běžné praktické využití, a tím i z dlouhodobého hlediska by studenti byli více žádáni na pracovním trhu.



Obrázek 44. Strojní zařízení – čelní pohled



Obrázek 45. Strojní zařízení – zadní pohled

## 10. Literatura

### 10.1. Reference

- [1] KOZIOREK, Jiří. Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů. *Výukový text pro studenty oboru Měřicí a řídicí technika : VŠB-TU Ostrava*. 2009, 1, s. 0-280.
- [2] KOZIOREK, Jiří. Distribuované systémy řízení. *Výukový text pro studenty oboru Měřicí a řídicí technika : VŠB-TU Ostrava*. 2010, 1, s. 0-264.
- [3] KOZIOREK, Jiří.- KOCIÁN, Jiří. - ŠTRBÍK, Ondřej. - FAJKUS, Zdeněk. Řídicí systémy na bázi programovatelných automatů. *Výukový text pro studenty oboru Měřicí a řídicí technika : VŠB-TU Ostrava*. 2012, 1, s. 0-314.
- [4] DUDEK, Jan. Bezpečnost v elektrotechnice. *Výukový text pro studenty: VŠB-TU Ostrava*. 2010, 1, s. 0-96.
- [5] Solid Works. In *Výuková příručka*. [s.l.] : Bs Solid Work, 2010. s. 169. Dostupné z WWW: <<http://www.ulozto.cz/742070/vyukova-prirucka-solid-works-pdf>>.
- [6] Wikipedie. Křemík. *Informativní text* : Creative Commons, 2012. s. 1. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99em%C3%ADk>>.
- [7] Wikipedie. Kyselina fluorovodíková. *Informativní text* : Creative Commons, 2012. s. 1. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina\\_fluorovod%C3%ADkov%C3%A1#cite\\_note-pim-1](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_fluorovod%C3%ADkov%C3%A1#cite_note-pim-1)>.
- [8] Wikipedie. Kyselina dusičná. *Informativní text* : Creative Commons, 2012. s. 1. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina\\_dusi%C4%8Dn%C3%A1](http://cs.wikipedia.org/wiki/Kyselina_dusi%C4%8Dn%C3%A1)>.
- [9] KOSEK, Rostislav. TIA Portal Innovation Tour. *Přehledový text pro Simatic Step7 V11: Industry Sector IA AS - Praha 2011*, 1, s. 0-71. Dostupné z WWW: [https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/industry/IADT/tia\\_na\\_dosah/Documents/TIA\\_Portal\\_Step7\\_PLC.pdf](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/industry/IADT/tia_na_dosah/Documents/TIA_Portal_Step7_PLC.pdf)>.
- [10] Modular Controller SIMATIC S7: Siemens Configuration. In *SIMATIC Selection Tool*. Siemens AG : Industry Sector, 2012. s. 1. Dostupné z WWW: <<https://eb.automation.siemens.com/mall/cz/cz/Catalog/Configurators>>.
- [11] SUROVEC, Tomáš. PLC program pro řízení lící věže při výrobě plynosilikátu. *Diplomová práce: Brno 2008*, 1, s. 0-54. Dostupné z WWW: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=6974](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6974)>.
- [12] SIEMENS, Industry sector. Products for Totally Integrated Automation and Micro Automation. *Přehledový katalog ST 70:Siemens AG Germany 2008*, 1, s. 0-764. Dostupné z WWW: [http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data\\_files/katalogy/st70/cat\\_st-70\\_2009\\_en.pdf](http://stest1.etnetera.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/st70/cat_st-70_2009_en.pdf) >.
- [13] SIEMENS, Industry sector. S7-300 FM350-2 Counter module. *Přehledový manuál A5E01365983-03: Siemens AG Germany 2011*, 1, s. 0-160. Dostupné z WWW: [http://cache.automation.siemens.com/dnl\\_iis/Tk/TkyOTI4NQAA\\_1105178\\_HB/s7300\\_fm350\\_2\\_operating\\_instructions\\_en\\_en%2DUS.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl_iis/Tk/TkyOTI4NQAA_1105178_HB/s7300_fm350_2_operating_instructions_en_en%2DUS.pdf) >.

- [14] EQUFLOW • Sensors : Fixed PFA turbine flowmeter. *Datasheet*: Equflow BV Netherlands, 2012, 1, s. 2. Dostupné z WWW: < [http://rndwarehouse.com/datasheets/PFA\\_Fixed\\_Datasheet.pdf](http://rndwarehouse.com/datasheets/PFA_Fixed_Datasheet.pdf)>. DS005971.
- [15] ATaP, Journal. Rozhranie človek-stroj. *Přehledová studie: Slovensko 2009*, 1, s. 0-39. Dostupné z WWW: [http://www.kasr.elf.stuba.sk/predmety/dasr/viz/Studia\\_200902.pdf](http://www.kasr.elf.stuba.sk/predmety/dasr/viz/Studia_200902.pdf)>.
- [16] Wikipedie. Hydrostatický tlak. *Informativní text* : Creative Commons, 2013. s. 1. Dostupné z WWW: < [http://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrostatick%C3%BD\\_tlak](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hydrostatick%C3%BD_tlak) >.
- [17] Foxon. Modemy eWon. *Informativní text k produktové řadě* : Obchod Foxon, 2012. s. 1. Dostupné z WWW: <[http://www.foxon.cz/modemy-eWon-modemy-eWon-c-339\\_340.html?zenid=60916178173060c6345cf071e01e0beb](http://www.foxon.cz/modemy-eWon-modemy-eWon-c-339_340.html?zenid=60916178173060c6345cf071e01e0beb)>.
- [18] Insys. Modemy Moros. *Informativní text k produktové řadě* : Průmyslová datová komunikace Insys, 2012. s. 1. Dostupné z WWW: <<http://www.insys-icom.cz/icom/cz/products>>.
- [19] SIEMENS, Industry sector. S7-300 FM350-2 Counter module. *Produkt Support: Siemens AG Germany 2013*, 1, s. 0-1. Dostupné z WWW: <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=29008499&nodeId=10805177&load=content&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=WW> >.

## **11. Seznam obrázků**

Obrázek 1. Model přední části stroje .....	9
Obrázek 2. Model zadní části stroje.....	12
Obrázek 3. Model hydraulické a pneumatické koncepce stroje .....	14
Obrázek 4. Model pravé a levé části stroje .....	15
Obrázek 5. Vývojový diagram postupu výběru HW PLC.....	22
Obrázek 6. CPU 315-2 PN/DP[12].....	23
Obrázek 7. Přehled standardních CPU s rozhraním pro PROFINET[1].....	24
Obrázek 8. Parametry CPU jednotky 315-2 PN/DP[11].....	24
Obrázek 9. Funkční modul FM350-2 [19] .....	25
Obrázek 10. Konfigurace PLC Siemens v programovém prostředí TIA V11.....	27
Obrázek 11. Šasi rozvaděče MN .....	29
Obrázek 12. Ovládací panel strojního zařízení.....	30
Obrázek 13. Vývojový diagram základní bezpečnostní smyčky programu .....	36
Obrázek 14. Vývojový diagram kontrolní smyčky běžícího procesu .....	37
Obrázek 15. Struktura FC a FB v organizačním bloku OB1.....	39
Obrázek 16. Struktura části FC a FB ve vícenásobném vnoření .....	40
Obrázek 17. Struktura FC a FB ve vícenásobném vnoření do bloků procedur. ....	41
Obrázek 18. Zobrazení topologie komunikace mezi panelem HMI a PLC v prostředí TIA V11 .....	42
Obrázek 19. Vnitřní světlost tanku (malé nádrže) .....	45
Obrázek 20. Ukázka použití funkce „BLKMOV“ v prostředí TIA V11.....	47
Obrázek 21. Ukázka způsobu volání FB v prostředí TIA V11.....	48
Obrázek 22. Datový blok funkčního modulu FM350-2.....	49

Obrázek 23. Způsob nastavení jednotlivých kanálů funkčního modulu FM350-2.....	50
Obrázek 24. Základní provozní funkce funkčního modulu FM350-2 .....	51
Obrázek 25. STS a SW brány složky DIW FM350-2.....	52
Obrázek 26. Setování a resetování bran funkčního modulu FM350-2 .....	52
Obrázek 27. Načítání pulsů z datového bloku funkčního modulu FM350-2 .....	53
Obrázek 28. Seznam obrazovek HMI v prostředí TIA V11 .....	54
Obrázek 29. Struktura vazeb mezi jednotlivými obrazovkami HMI .....	54
Obrázek 30. Způsoby připojení modemu EWon [17] .....	57
Obrázek 31. Alternativa modemu EWon k posouzení [17] .....	58
Obrázek 32. Komunikace modemů Moros (server a klient)[18] .....	59
Obrázek 33. Technické parametry modemu Moros[18] .....	60
Obrázek 34. Způsob konfigurace serveru Moros[18].....	61
Obrázek 35. Způsob konfigurace Klienta Moros[18] .....	61
Obrázek 36. Testování spolehlivosti měření pomocí průtokoměru .....	65
Obrázek 37. Testování HMI.....	67
Obrázek 38. Testování spolehlivosti nastavených parametrů.....	69
Obrázek 39. Testování procedury BXX.....	70
Obrázek 40. Testování procedury BXX_2 .....	70
Obrázek 41. Umístění Moros serveru při testování vzdálené správy.....	71
Obrázek 42. Zobrazení on line parametrů při testování vzdálené správy .....	72
Obrázek 43. Umístění Moros klienta ve strojním zařízení.....	72
Obrázek 44. Strojní zařízení – čelní pohled .....	74
Obrázek 45. Strojní zařízení – zadní pohled .....	74

## **12. Seznam příloh**

Příloha 1: Zadání diplomové práce .....	1
Příloha 2: Schéma elektro .....	13
Příloha 3: Pneu schéma .....	14
Příloha 4: Program PLC_HMI.....	31
Příloha 5: Options assembly B process.xls .....	32
Příloha 6: Výpočet aktuálního objemu.....	46
Příloha 7: Blokový popis programu.....	46
Příloha 8: Video- příprava na hlavní testování průtokoměru .....	64
Příloha 9: Testování senzoru tlaku.....	66
Příloha 10: Foto .....	69
Příloha 11: Video- Testování stroje 1 .....	69
Příloha 12: Video- Processes for Injecting.....	69
Příloha 13: Video- Processes for Small pool.....	69
Příloha 14: Video- Testování stroje 2 .....	69

Zmíněné přílohy jsou umístěny na neveřejném nosiči CD/DVD. Uvedená čísla stránek popisují umístění odkazů k jednotlivým přílohám.